

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
(ФГБНУ ВИЭСХ)

На правах рукописи

СОКОЛОВ АЛЕКСАНДР ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РАЗРАБОТКА
ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ РАСТЕНИЙ В
ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ С РЕЗОНАНСНЫМ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ**

05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент Юферев Л.Ю.

Москва–2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ.....	11
1.1 Зависимость продуктивности растений от спектральных характеристик излучения. Основные требования к искусственным источникам света, применяемых в светокультуре растений.....	11
1.2 Анализ искусственных источников света для облучения растений.....	23
1.3 Применение светодиодов для освещения растений в защищенном грунте.....	35
1.4 Обоснование системы электропитания тепличных светодиодных светильников.....	41
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОЙ СИСТЕМЫ ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ.....	50
2.1 Математическое моделирование спектрального состава светодиодного облучателя.....	50
2.2 Разработка структуры резонансной системы облучения растений.....	63
2.3 Методика расчета передающего блока для резонансной системы электропитания освещения в защищенном грунте.	67
2.4 Методика расчета приемного оборудования для светодиодных облучателей.....	72
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ С РЕЗОНАНСНЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ.....	76
3.1. Разработка широкополосного светильника для защищенного грунта..	76
3.2. Разработка резонансной системы электропитания светильников.....	78
3.3. Методические положения по применению резонансной системы освещения растений в защищенном грунте.....	89

ГЛАВА 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВА-	
НИЯ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ С РЕЗОНАНСНЫМ	
ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ	97
4.1. Результаты лабораторных испытаний разработанной системы	
освещения.....	97
4.2 Результаты производственных испытаний системы.....	100
4.3. Расчёт технико-экономических показателей использования	
широкополосной системы освещения с резонансным электропитанием....	105
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	113
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	114
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	125

ВВЕДЕНИЕ

Огромную роль в жизни на Земле играют растения. Они сами производят органические вещества посредством фотосинтеза, а не получают их извне. Для роста, цветения и плодоношения им нужен свет.

Как для фотосинтеза, так и вообще для нормального течения любых фотобиологических процессов жизнедеятельности растений нужен свет – лучистая энергия, не только определенного спектрального состава, но и соответствующей мощности.

Основным источником искусственного освещения в настоящее время является электрическая энергия. Первыми в опытах по искусственному облучению в производственных теплицах были лампы накаливания. Следующим этапом стало применение газоразрядных ламп, которые привели к выращиванию растений не только в производственных теплицах и лабораториях, но и в тепличных хозяйствах. В настоящее время большинство тепличных хозяйств используют для освещения растений натриевые лампы высокого и низкого давления, а так же металлогалогенные лампы ДРИ. При этом потребляемая мощность на квадратный метр достигает 125Вт электрической энергии. Равномерная освещённость растений в теплице достигается с помощью светильников соответствующей мощности с пускорегулирующей аппаратурой.

Продуктивность системы электрического досвечивания определяется спектральным составом источника света, уровнем освещённости, и коэффициентом полезного действия, влияющим на эксплуатационные расходы. Для осуществления фотосинтеза необходимы излучения в определенной части видимого оптического излучения, так называемой области фотосинтетически активной радиации (ФАР). Характер действия фотосинтеза изменяется для излучений различного спектрального состава. В первую очередь следует отметить, что у всех зеленых растений основные максимумы поглощения находятся в синей и красной областях спектра, а

минимум — в желто-зеленой.

На определенных стадиях роста и развития растений требуются различные участки видимого света в диапазоне 400-700 нм, но с преобладанием красных, синих и фиолетовых лучей. На стадии цветения могут оказаться продуктивным добавление желтого или оранжевого света. В период плодоношения и созревания для некоторых видов растений возрастает роль, например, зеленого света (огурцы, томаты).

Отсутствие в излучении ламп отдельных участков спектра может привести к нарушению нормального роста растений при их длительном выращивании. Разработкой систем освещения растений занимались Аверчева О.В., Алферова Л.К., Башилов А.М., Валеев Р.А., Воскресенская Н.П., Ерохин А.Н., Живописцев Е.Н., Жилинский Ю.М., Клешнин А.Ф., Ключка Е.П., Кожевникова Н.Ф., Козинский В.А., Козырева И.Н., Коломиец А.П., Кондратьева Н.П., Косицын О.Г., Леман В.М., Лисовский Г.М., Лямцов А.К., Максимов Н.А., Малышев В.В., Мальчевский В.П., Мошков Б.С., Ничипорович А.А., Овчукова С.А., Прищеп Л.Г., Протасова Н.Н., Растимешин С.А., Сарычев Г.С., Свентицкий И.И., Сидько Ф.Я., Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Шульгин И.А., В. Singh, J. Bonnet, M. Fischer, P. Harris, P. Mekkel, R. McCree и др.

Однако, несмотря на все возрастающую потребность в источниках излучения для теплиц и фитотронов до сих пор не созданы высокоэффективные растениеводческие лампы, которые должны иметь не только высокий КПД, но и благоприятный для растений стабильный спектральный состав света.

Спектр натриевых, металлогалогенных и других ламп, применяемых в теплицах, лишь частично заменяет спектр, необходимый для роста и развития растений.

Появление и развитие светодиодов в оптоэлектронной промышленности, постоянное повышение их световой отдачи при малом

энергопотреблении позволяет предполагать, что в ближайшие годы светодиоды могут стать одними из основных источников облучения в защищенном грунте. Светодиодные лампы позволяют плавно регулировать уровень освещенности, имеют улучшенную цветопередачу и большой срок службы.

Научно и практически доказано, что для освещения растений можно использовать источники света на основе светодиодов различного цвета свечения.

Современная промышленность выпускает специальные светильники для растениеводства на основе светодиодов синего и красного цвета и доказано, что можно значительно повысить урожайность и повысить качество продукции расширением и регулировкой спектра искусственного источника света.

Применение в качестве искусственных источников света светодиодов позволит создать широкополосный облучатель с регулируемым спектром.

Специализированное электрическое питание светодиодов – одна из проблем, которая всегда стоит на первом месте перед производителями источников света. Источники питания светодиодов обычно называют драйверами. У драйверов основными характеристиками являются выходной ток и мощность. КПД универсальных драйверов хуже, чем у драйверов рассчитанных на фиксированное количество светодиодов. Также драйвера с фиксированным количеством диодов обычно содержат защиту от нештатных ситуаций. Большинство драйверов плохо переносят подключение к питающему напряжению без нагрузки [45]

КПД современных светодиодных драйверов лежит в пределах 70 – 90%. Максимальное значение КПД, как правило, достигается при нагрузке с мощностью, составляющей примерно 60 – 70% от номинальной.

Большой проблемой для работы светильников являются броски напряжения на выходе драйвера. Для светодиодов, даже кратковременные превышения напряжения недопустимы. Броски напряжения на выходе могут

возникать как из-за бросков напряжения на входе, так и из-за переходных процессов при включении блока [10].

Для организации питания классическим способом (с применением драйверов) светодиодного освещения с изменяемым спектром излучения потребуются применение большого числа питающих проводов для каждого цвета отдельно или сложная и дорогостоящая система управления.

Одним из вариантов системы питания и управления каждого цвета отдельно является резонансная система электропитания.

К преимуществам резонансных систем электропитания можно отнести следующее:

- передача электрической энергии на большие расстояния без применения промежуточных трансформаторов;
- снижение капитальных затрат на электроснабжение;
- уменьшение потерь в линии при передаче электроэнергии;
- принципиальное отсутствие коротких замыканий в проводах;
- экономия цветных металлов;
- экономия электроэнергии;
- возможность плавного регулирования передаваемой мощности.

Резонансными системами передачи электроэнергии занимались Российские ученые Авраменко С.В., Некрасов А.И., Рощин О.А., Стребков Д.С., Трубников В.З. и Юферев Л.Ю.

В связи с этим возникают задачи с разработкой таких технических средств на основе резонансной системы питания светодиодных источников света.

Разработка технических средств широкополосной системы освещения с резонансным электропитанием потребует научного обоснования конструктивных и технологических параметров светильников, системы питания. Этому посвящена настоящая диссертационная работа, что и определяет её актуальность.

Работа выполнялась в рамках рабочей программы по фундаментальным

и приоритетным прикладным исследованиям на 2012-2016 год №09.03.04.03

Цель работы. Разработка широкополосной системы освещения растений в защищенном грунте с резонансным электропитанием для обеспечения эффективного облучения растений, позволяющей снизить капитальные затраты и расход электроэнергии, уменьшить срок выращивания рассады, а так же повысить продуктивность растений.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- обосновать возможность использования широкополосной системы освещения растений в защищенном грунте с резонансным электропитанием;
- разработать математическую модель для определения оптимального спектрального состава светильника;
- обосновать параметры, состав оборудования и разработать методику расчета широкополосной системы освещения с резонансным электропитанием;
- разработать экспериментальные образцы и провести лабораторные и производственные испытания;
- на основе экспериментальных испытаний оценить технико-экономическую эффективность внедрения комплекта технических средств в теплицах.

Научную новизну работы представляют:

- универсальная широкополосная система освещения растений с варьруемым спектром на основе разноспектральных светодиодных источников света с многоканальной резонансной системой питания;
- методика моделирования спектральных характеристик светодиодных светильников.
- методика расчета оборудования для резонансной системы электропитания.
- методические положения по применению системы освещения растений с резонансным электропитанием в защищенном грунте.

Положения, выносимые на защиту:

- разработанная широкополосная энергосберегающая система освещения растений с возможностью изменения мощности и спектра облучения в защищенном грунте и многоканальной резонансной системой питания позволяющая снизить капитальные затраты и расход электроэнергии, а также повысить продуктивность растений;

- разработанная математическая модель облучателя позволяет определить оптимальный спектральный состав и обеспечить наилучшее соответствие спектру действия фотосинтеза;

- разработанная методика расчёта позволяет обосновать технологические и конструктивные параметры светотехнического оборудования и резонансной системы питания для различных помещений защищенного грунта;

- разработанные, изготовленные и испытанные в производственных условиях комплекты технических средств широкополосной системы освещения позволяют сократить период вегетации рассады от 5 до 10 дней до уровня готовности высадки в грунт, а также уменьшить расход электроэнергии в 2 раза, а сечения проводов в 7 раз.

Методика исследований.

При выполнении диссертационной работы применялись аналитические и экспериментальные методы исследования. Использовались методы математического моделирования с применением программного обеспечения Eureka Pro, MS Excel, MathCAD Prime, AutoCAD, теоретические основы радиотехники, светотехники и электротехники, методы спектрального анализа, методы прикладной экономики, а также современная измерительная аппаратура.

Практическая ценность:

- разработана методика моделирования спектра, которая может быть применена при расчёте электротехнических параметров широкополосной

системы освещения для различных видов овощных культур;

- разработаны технические средства для освещения растений, позволяющие менять спектр и мощность излучения, а также контролировать эти параметры. При этом уменьшаются расходы на электроэнергию и стоимость системы;

- разработана методика применения широкополосной системы освещения в различных помещениях защищенного грунта, которая может быть использована при проектировании систем освещения теплиц;

- разработана резонансная система питания облучателей для растений и методика расчета резонансных передающих устройств.

ГЛАВА 1 ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ

1.1 Зависимость продуктивности растений от спектральных характеристик излучения. Основные требования к искусственным источникам света, применяемых в светокультуре растений

Взаимодействия и обратные связи в росте и развитии растений довольно сложны. Продукционный процесс складывается из совокупности действий ростовых, органообразовательных, фотосинтезных и других процессов, формирующих конечный урожай [84].

Добиться превосходных урожаев в естественных условиях практически невозможно, потому как нет на Земле такой совокупности внешних параметров, соответствующих потребностям растений для максимальной продуктивности [39].

Большинство факторов окружающей среды (минеральное питание, газовый состав атмосферы, температура, водный режим и т.д.) выводятся на уровни, достаточные для жизненных процессов растений в искусственных условиях. Одним из основных параметров в таких условиях является световой фактор. Интенсивность и спектральный состав света выполняют роль в формировании наиболее важных составляющих продукционного процесса. Необходимо знание взаимосвязей излучения разных частей спектра солнечной радиации на развитие, рост, фоторегуляцию и на другие процессы, действующие на формирование конечной продукции [84].

Первые систематические опыты по изучению действия искусственного излучения на растения были проведены в 1865 русскими ботаниками А.С. Фаминциным и И.П. Бородиным. Источником излучения служили керосиновые лампы, смонтированные в специальный прибор, имеющий рефлектор и линзу. Подвергали действию света водоросль (спирогриа), и наблюдали образование крахмала в ее хлоропластах [34].

В 1882 г. К.А. Тимирязев на специальной лекции продемонстрировал действие электрического освещения на процесс разложения углекислоты водяными растениями [39,82].

Несколько позже (1895) электрическая дуга была с успехом использована известным французским ботаником Боннье. Он проращивал семена, корневища и клубни травянистых растений. Ему удалось показать не только наличие приростов растительной массы под воздействием электрического света, но и зависимость их от продолжительности периода ежесуточного освещения [34].

Первая попытка использовать свет лампы накаливания была сделана в 1895г. Рэном (F.W.Rane). Однако из-за несовершенства электрического освещения предпочитали пользоваться другими источниками освещения и, в частности, газовой горелкой Ауэра.

Впервые экспериментально удалось доказать возможность выращивания растений полностью на искусственном свете в 1922 американскому исследователю Гарвею. А в 1925 советский ученый Максимов вырастил растения в темной камере без доступа естественного излучения благодаря появлению мощных вольфрамовых ламп накаливания [34].

В 1929 г. была выпущена большая монография шведского исследователя С. Одена. Оден сделал попытку изучить влияние спектрального состава излучения на биохимический состав растений, применяя различные лампы и изменяя напряжение тока [34].

С 1932 начались опыты В.П. Мальчевского по светокультуре в Физико-агрономическом институте ВАСХНИЛ. Используя полностью искусственное облучение ламп накаливания и неоновых ламп, он изучил возможности выращивания 165 сортов различных сельскохозяйственных культур. Мальчевский В.П. предложил методику "световых" ударов - периодического кратковременного облучения растений сильным светом, однако такой прием не получил распространения.

А первыми работами, где обращалось внимание на возможность регулирования фотосинтезом за счет варьирования спектральным составом света, стали труды советских исследователей (Данилов и др. 1935, 1936, 1940, и Мальчевский 1938, 1940 и др.) [16]

В 1937 г. Гувером (Hoover) были сделаны попытки определения спектра действия фотосинтеза и физиологической эффективности различных лучей спектра листьями пшеницы, выращенными на свету ламп накаливания, солнечного света и ртутной лампой. Усредненная кривая спектра действия фотосинтеза, полученная Гувером (Hoover, 1937) представлена на рисунке 1.1. Подобная характеристика фотосинтеза по спектру получена с помощью фильтров Христиансена, пропускавших лучи узких участков спектра.

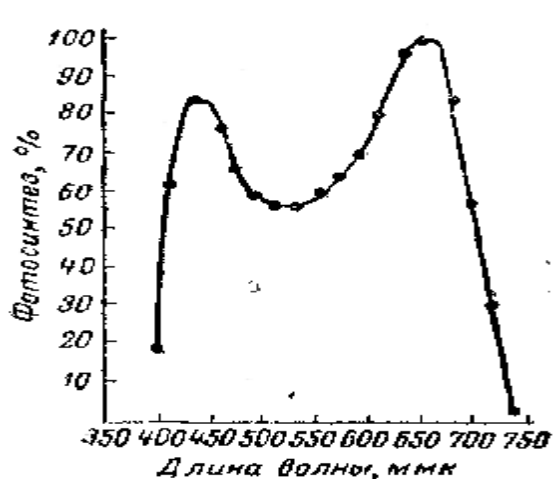


Рисунок 1.1 Спектр действия фотосинтеза для листьев пшеницы (Hoover, 1937)

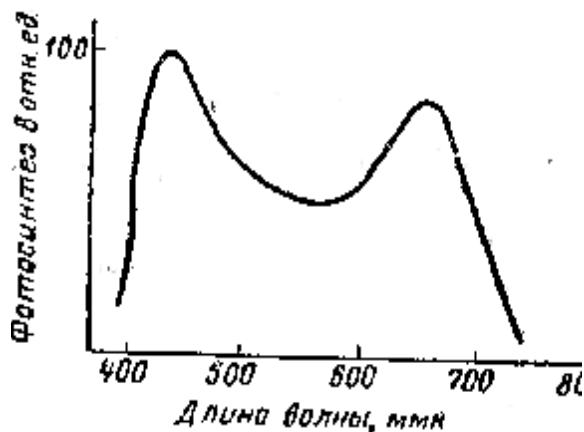


Рисунок 1.2 Спектр действия фотосинтеза (по Гуверу), рассчитанный на одинаковое количество квантов (Burns, 1938)

Спектр действия фотосинтеза, полученный Гувером и пересчитанный на одинаковое количество падающих квантов, представлен на рисунке 1.2. При таком расчете второй, коротковолновый максимум фотосинтеза становится больше чем первый [16].

Эмерсон и Льюис (Emerson, Lewis, 1943) исследовали спектр действия фотосинтеза, эффективность фотосинтеза по спектру и максимальные квантовые выходы у хлореллы. Авторы полагают, что спектральный состав

света оказывает влияние на интенсивность дыхания. И падение фотосинтеза в синей области спектра по сравнению с другими может быть вызвано, вероятно, не только поглощением света неактивными для фотосинтеза пигментами, но также тем, что этот свет вызывает реакции, отвлекающую поглощенную энергию от восстановления CO_2 , что приводит к падению фотосинтеза. Поэтому необходимо принимать во внимание возможность возбуждения синим светом дыхательных систем клетки, имеющих спектр поглощения в области спектра действия. В эти лучах активизируются реакции, противоположные по знаку фотосинтезу [16].

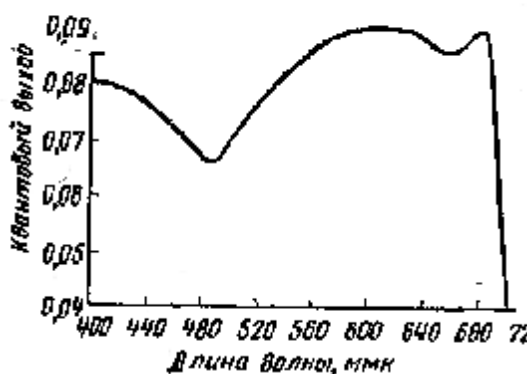


Рисунок 1.3 Квантовый выход фотосинтеза как функция волны света для хлореллы (Emerson, Lewis, 1943)

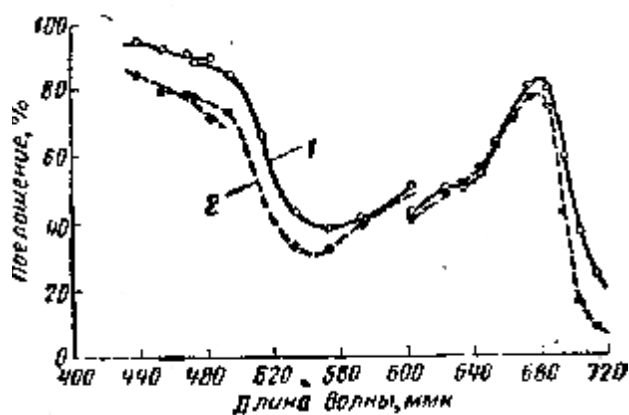


Рисунок 1.4 Сравнение общего (1) и фотосинтетически активного (2) поглощения света суспензией хлореллы (Emerson, Lewis, 1943)

Различные виды растений и одни и те же виды на разных возрастных этапах могут иметь весьма контрастные требования к спектру ФАР для максимизации продукционной деятельности. Эти требования могут существенно зависеть и от уровня облученности в области как ФАР, так и ИКР. Разумеется, что ИКР оказывает определенное влияние на ход продукционного процесса, влияя на него через морфогенез и ряд регуляторных механизмов (фитохром, гормональная регуляция и др.) [84].

Действие дополнительного облучения на цветочные культуры в СССР изучал Н.П. Красинский (1937). Пользуясь лампами накаливания и

искусственно повышая содержание углекислоты в воздухе, он нашел новые пути в совершенствовании технологии выращивания цветов зимой.

С появлением нового типа источников света - газоразрядных ламп - связывают наступление нового этапа развития светокультуры.[20]

В 1947-1948гг. изучение поведения растений в условиях люминесцентного освещения начато А.Ф. Клешным под руководством Н.А. Максимова.

Действие спектрального состава света на растение рассмотрено в монографии Клешина (1954). Действию качества света на фотосинтез в ней уделено небольшое внимание [27].

Не одинакова в различных областях ФАР спектральная эффективность интенсивного излучения при небольшом времени адаптации к нему фотосинтетического листа, что было показано в исследованиях В.М. Гольд 1969, 1975 и Н.П.Воскресенской 1965 [16,84].

В 1966 году Б.С. Мошков разрабатывал методы быстрого (за 60 дней) выращивания томатов в установке с водяными фильтрами, изучал действие инфракрасного излучения и описал опыты о возможностях увеличения продуктивности растений и ускорения созревания их урожая [34].

На рисунке 1.5 приведена относительная спектральная эффективность излучения по Свентицкому И.И.. Эффективность основных фотохимических процессов зависит от длины волны падающего на растения [47-49]

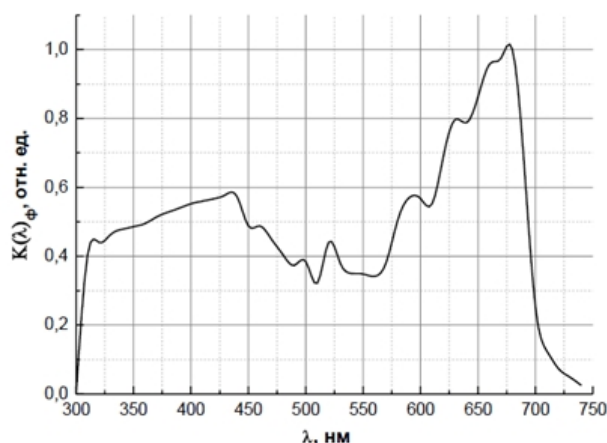


Рисунок 1.5 Относительная спектральная эффективность излучения по Свентицкому [15].

Роль спектрального состава света для фотосинтеза весьма и весьма существенна. Физико-биохимические эффекты, вызываемые воздействием красного или синего света или даже простым изменением соотношения красных и синих лучей в источниках света, настолько существенны, что становятся актуальной регуляцией фотосинтетической деятельности растения с помощью изменения спектрального состава света.

Для более точной оценки оптического излучения его делят на отдельные участки, оказывающие различное физиологическое воздействие:

280-320 нм - влияет, чаще всего, вредным образом на рост и развитие растений. А все же малое количество такого воздействия некоторым растениям требуется для нормального развития.

320-400 нм - оказывает воздействие на регуляторные процессы в развитии растений. Благодаря этому включение в состав лучистого потока небольшого количества такого излучения вполне целесообразно;

400-500 нм ("синий") - поглощение желтыми пигментами, второй пик абсорбации хлорофиллом, второй пик фотосинтеза, играет важную роль, должен входить для обеспечения фотосинтеза и регуляции;

500-600 нм ("зеленый") - обладает высокой проникающей способностью, полезен для фотосинтеза оптически плотных листьев, листьев нижних ярусов, густых посевов, наименьшая физиологическая реакция.

600-700 ("красный") - зона максимального фотосинтетического эффекта синтеза хлорофилла, наиболее важный участок для обеспечения развития и регуляции процессов. Обязателен в лучистом потоке для обеспечения высокого фотосинтеза. Однако монохроматический красный свет может привести к ненормальному развитию или к гибели растения;

700-750 ("дальний красный") - в основном эффект вытягивания стебля, ярко выраженное регуляторное действие, достаточно несколько процентов в общем спектре.

Часть доходящей до растений солнечной радиации в спектральном диапазоне 400—700 нм, используемая для процесса фотосинтеза, получила название фотосинтетически активной радиации (ФАР)

Несомненно, что все перечисленные спектральные диапазоны присутствуют в солнечном излучении, в допустимых для развития растений количествах. Однако, в искусственных условиях, когда естественное облучение отсутствует, обеспечение наиболее благоприятного сочетания вышеперечисленных спектральных диапазонов в светильниках является проблематичным. Поэтому необходимо знание спектрального состава света, излучаемых искусственными источниками света [83].

В натриевых лампах низкого давления оранжево-красный спектр излучения в области ФАР на одной длине волны 587 нм [98].

Лампы накаливания имеют низкий световой КПД (менее 3,5%), сплошное излучение в оранжево-красной и инфракрасной областях спектра [4,5].

В начале 50-х годов стали широко использоваться люминесцентные лампы, которые за счет введения в них определенных типов люминофоров дали возможность варьировать спектральный состав излучения этих источников света в очень широких пределах. Однако серийные промышленные образцы имели лишь несколько градаций по спектру. Ограниченная мощность люминесцентных ламп в большинстве случаев не позволяла работать с уровнями облученности выше 50-60 Вт/м² ФАР.

В конце 50-х - начале 60-х годов начали успешно пользоваться для выращивания растений ксеноновые лампы. В излучении ксеноновых ламп замечается близость в спектре к естественному в видимой области и присутствием значительной инфракрасной составляющей, а также высокая интенсивность лучистых потоков.

В начале 60-х годов появление мощных ртутных ламп высокого давления произвело новый этап в развитии исследований по влиянию спектрального состава света на производственный процесс. Такие лампы давали

высокоинтенсивное излучение преимущественно в синей и зеленой областях ФАР.

Разработка на базе ртутных ламп высокого давления металлогалогенных ламп с добавками иодидов или бромидов позволила изменять спектральный состав излучения.

Успешное внедрение получили натриевые лампы высокого давления (ДНаТ-400).

Любой источник света, и Солнце, и лампа, характеризуется переносом определенного количества энергии, заключенного в каждом пучке его лучей. Такая энергия, соотнесенная ко времени, образует меру интенсивности пучка. Интенсивность характеризуется мощностью, переносимую волной в направлении распространения через единичную площадку, и выражается в Вт/м².

Интересно коснуться вопроса о значении для фотосинтеза крайних областей спектра видимой радиации, лучи которых, хотя и поглощаются хлорофиллом, но оказываются мало эффективными для фотосинтеза. Это касается областей спектра ниже 380 нм и выше 700 нм. Интенсивность фотосинтеза в этих областях составляет ничтожную долю по сравнению с фотосинтезом в области от 400 до 680 нм. Однако коротковолновая область интересна в связи с выяснением возможного использования в фотосинтезе ближних ($\lambda > 360$ нм) ультрафиолетовых лучей, которые содержатся в естественном излучении на больших высотах. Этот вопрос представляет интерес также при выборе источников освещения для светокультуры растений, так как длинноволновый ультрафиолет имеет существенное значение для жизнедеятельности растений (Гурский и др, 1961; Дубров, 1963) [16].

Содержание в оптическом излучении ультрафиолетовой радиации, как известно [Дубров, 1963], может существенно влиять на продуктивность растений. Свойства ультрафиолетового излучения зависят от длины волны [16].

И подразделяют на три условных поддиапазона: область А - Длинноволновое ультрафиолетовое излучение (320...380 нм), область В - Средневолновое ультрафиолетовое излучение (275...320 нм) и область С - короткое ультрафиолетовое излучение (200...275 нм).

Ультрафиолетовое излучение (область В) вызывает при больших дозах разрушение белковых веществ в растениях.

При коротком ультрафиолетовом излучении (область С) - растения быстро гибнут.

Коротковолновой границей спектра для фотосинтеза зеленых растений можно, по-видимому, считать участок спектра около 330нм. Более далекая область 260-320нм является уже областью резкого подавления фотосинтеза. Так, спектральная кривая эффективности подавления фотосинтеза ультрафиолетовым облучением у хлореллы имеет максимум в области 250 нм. При 265нм подавление составляет около 50%, а при 320нм падает почти до нуля (Белл, Меринова, 1961). Действие ультрафиолета (254нм) вызывает явление хлороза у молодых листьев ячменя. Предполагают, что ультрафиолет нарушает синтез хлорофилла. [16].

Обнаружено (McLeod, Kanwisher, 1962), что квантовая эффективность ниже 350нм быстро падает. Ниже 270 нм выделение кислорода не происходит [16].

Различия в интенсивности ФАР особенно велики в многоярусном фитоценозе. Светолюбивость видов значительно определяется расположением в отдельном ярусе. В нижних ярусах фитоценоза интенсивность ФАР недостаточна для того, чтобы листья могли фотосинтезировать с максимальной продуктивностью [85].

Долгое время полагали, что свет не имеет серьезного значения для прохождения стадии яровизации - первой стадии развития растений. Т.Д. Лысенко в первой половине XX века первым обратил внимание на то, что для успешного прохождения яровизации требуются помимо других факторов жизни, ещё и специфические условия солнечного освещения. В 1958г.

Н.Р. Трусова проращивала семена проса, овса и суданской травы в растильнях при свете синих и красных люминесцентных ламп; в контроле семена проращивали в темноте. Наблюдения показали, что облучения светом разного качества даже в первые дни жизни растений, было достаточно, чтобы ускорить на 4-11 дней образование генеративных побегов - выметывание метелок. Для проса и суданской травы (растения "короткого" дня") более благоприятен синий свет, а для растений овса(растение "длинного дня") - красный [87].

Опыты Шаина и др. показали, что многие растений "длинного дня" для своего развития первоначально требуют относительно малой интенсивности света, обилие длинноволновых лучей при отсутствии или малом количестве коротковолновых. В последующем же, летом, наоборот, коротковолновая солнечная радиация, большая интенсивность света ускоряют цветение и плодообразование "длиннодневных" растений. Многим растениям "короткого дня" для более быстрого прохождения стадий яровизации и световой требуется коротковолновое солнечное освещение. Отсутствие его сильно задерживает развитие. Но в последствии наличие длинноволновых лучей хотя бы при слабом коротковолновом освещении даже ускоряет стадийное развитие некоторых растений [87].

Процессы, возникающие в листе определенные эффекты, может вызвать только поглощенный свет. В какой момент или какие пигменты поглощают свет в различных участках спектра, возникает понятие о спектре действия реакции. Спектр действия фотосинтеза - кривая, изображающая зависимость интенсивности фотосинтеза от длины падающего света (Gaffon, 1960; Белл, 1964) [16].

Фитохром - фотоактивная система, важная для общего обмена и морфогенеза растений, - имеет спектр действия с максимумами в области 660-730нм. Маскируется спектром поглощения хлорофилла.

Спектр действия фотосинтеза имеет всегда максимум в красной области и затем менее ярко выраженный - в синей. Иногда у высших растений

наблюдается пологое падение фотосинтеза от красной области к синей, без появления второго максимума [16].

Значительные исследования спектральной эффективности фотосинтеза были проведены в 70-е годы XX века Маккри и Инада [102-109]. В этих работах на листьях растений различных систематических групп были получены примерно одинаковые по структуре спектры действия фотосинтеза (рис. 1.6). Четкий методический подход и достаточно высокий уровень экспериментальной техники окончательно подтвердили мнение о том, что у зеленых листьев растений различных видов структура спектра действия фотосинтеза листа может быть принята как универсальная [84].

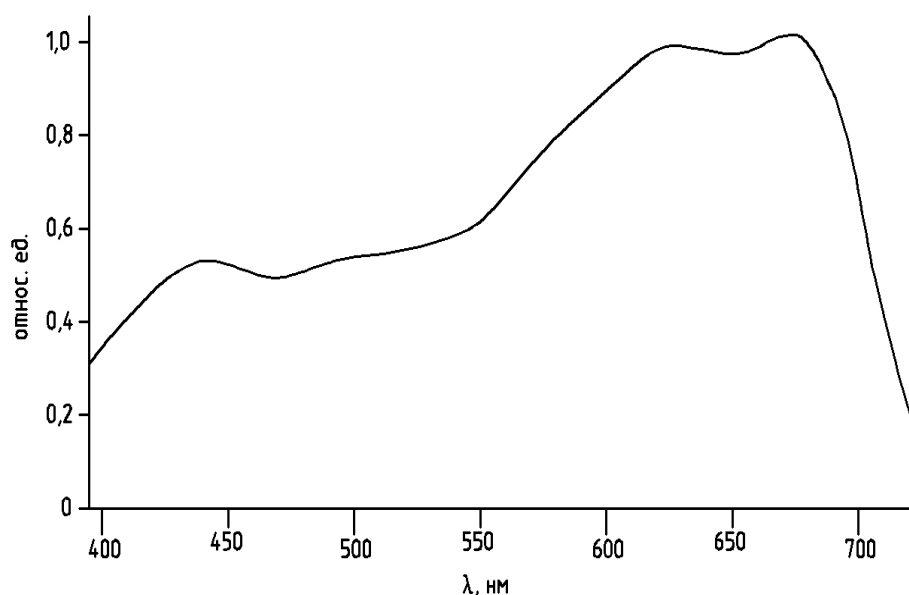


Рисунок 1.6 Усредненная кривая спектра действия фотосинтеза зеленого листа (по данным McCree, 1972)

В работах Ф.Ф. Литвина и Хэ-И-Таня [1967], а также Г.А. Санадзе и Д.И. Баазов [1982] показана универсальность структуры и функции фотохимических пигментов систем у высших растений и водорослей.

Попытка оценить спектральную эффективность фотосинтеза листа при длительном пребывании на высокоинтенсивном красном и синем свете была предпринята в исследованиях Н.П. Воскресенской [1965]. В этой работе показано, что наиболее эффективным может быть как красный, так и синий свет в зависимости от вида растений [84].

В.М. Леман (1971) провел ряд исследований по изучению фотосинтеза листа при излучении различных источников света, которые приведены в его монографии. Измеренные им значения фотосинтеза листьев растений, длительно выращиваемых под люминесцентными, неоновыми, ртутными, ксеноновыми лампами и лампами накаливания, показали, что наиболее высокие значения фотосинтеза дают ксеноновые лампы, несколько хуже - люминесцентные и лампы ДРЛ, а остальные источники света дают значительно худшие результаты (Леман, 1971)[84].

В работе Н.Н. Протасовой (1987) на растениях перца оценивалась эффективность в фотосинтезе излучения синих, зеленых, красных, сине-красных и белых люминесцентных ламп. Такие измерения показали максимальный фотосинтез для листьев, выращенных на синем свете, с последовательным его уменьшением после выращивания на сине-красном (25% синего света), белом, красном и зеленом свете [83].

В работе Н.Н. Протасовой, Дж.М.Уеллс, М.В. Добровольского, Л.Н. Цоглина (1990) приведены результаты исследований по выращиванию растений в фактостатных условиях с освещением от источников с различными спектральными характеристиками. В исследованиях рассмотрено действие отдельных областей ФАР на рост и продуктивность растений. Показано, что для получения полноценных растений при выращивании в условиях искусственного освещения необходимо определенное энергетическое соотношение энергии по спектру ФАР в растениеводческих лампах: 20-25% в синей (380-490 нм), 20-25% в зеленой (490-600) и 60-50% в красной области (600-700 нм) [44].

1.2 Анализ искусственных источников света для облучения растений

Одними из первых искусственных источников излучения растений были керосиновые лампы, газовые горелки, угольные дуги и небольшие лампы накаливания. Они позволяли изучать определенные физиологические процессы растений в лабораторных условиях.

С появлением мощных ламп накаливания стали проводиться опыты по искусственному облучению в производственных теплицах. Лампы накаливания (ЛН) являются источником главным образом красных и инфракрасных лучей - до 80-90 % всего излучения. Обычные лампы накаливания бедны ультрафиолетовым излучением (менее 1%).

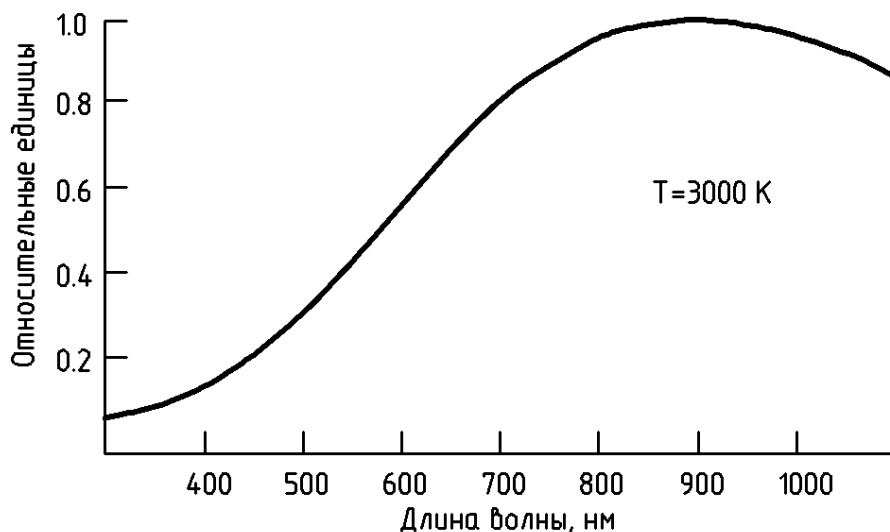


Рисунок 1.7 Распределение энергии в спектре излучения лампы накаливания (температура вольфрамовой нити 3000К) [83]

При невысоких облученностях для досвечивания рассады в теплицах иногда используют лампы накаливания в сочетании с люминесцентными лампами, например, установки комбинированного облучения при соотношении мощностей 1:3.

В производственной практике лампы накаливания иногда применяются при небольших удельных мощностях, когда не требуются высокие облученности, к примеру, при выращивании цветов или продлении светового дня. В этих целях облучательные установки с лампами накаливания

используются в теплицах Голландии, Франции, Англии. Лампы накаливания просты и удобны в эксплуатации, однако они не получили широкого распространения в растениеводстве, т.к. обладая высоким энергетическим КПД ($\eta_{\text{э}} = 14\%$), лампы накаливания имели сравнительно низкий световой КПД (до 2-4% ФАР). Наличие в их спектре излучения большого количества красных и инфракрасных лучей вызывает ненормальное вытягивание стеблей, деформацию листьев и перегрев растений [84].

Следующим этапом стало применение газоразрядных ламп, которые привели к выращиванию растений не только в производственных теплицах и лабораториях, но и в тепличных хозяйствах. Эти источники радиации получили дальнейшее развитие в виде непрерывного совершенствования и явились более экономичными, чем лампы накаливания [34].

Газоразрядные лампы - это источники света, в которых излучение возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов, паров металлов или их смесей [84].

Все газоразрядные источники делятся на источники высокого и низкого давления. Источники низкого давления: люминесцентные лампы, натриевые, дуговые паросветные, дуговые газосветные. Источники высокого давления: дуговые ртутные с добавками йодидов металлов, дуговые ртутно-вольфрамовые, ксеноновые, натриевые лампы [22,84].

У газоразрядных ламп, чаще всего, наблюдается линейный спектр, специфический для данного светящегося вещества. Относительная яркость линий и количество энергии в их излучении определяются давлением газа и химическим составом стеклянных колб или трубок. У люминесцентных и дуговых ламп имеются спектры смешанного характера, где основной сплошной фон накладываются отдельные линии излучения [24].

Срок службы газоразрядных ламп может достигать до 10-12 тыс. ч. Зажигание и нормальный режим работы лампы обеспечивается пускорегулирующей аппаратурой. Лампы чувствительны к колебаниям

температуры и влажности наружного воздуха, эксплуатируются при температуре от +5 до +35 °С и влажности до 65% [83].

Специальные люминесцентные лампы для облучения растений имеют светоотдачу на 40-50% выше, чем обычные, мощностью 40Вт. Температура колбы лампы при 15-20 часах горения не превышает 45-50 °С, что позволяет приближать к растениям [83].

Лампа ЛФ-40-1 с однокомпонентным люминофорным покрытием имеет максимум излучения в красной области и предназначена для облучения рассады огурцов.

Лампа ЛФ-40-2 с двухкомпонентным люминофорным покрытием и максимумом излучения в красной и синей областях предназначена для облучения рассады томатов [6,67,100].

Таблица 1.1- Тепличные люминесцентные фотосинтезные лампы

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток, лм	Фотосинтезная отдача, мфт/Вт	Срок службы
ЛФ-40-1	40	220	1680	135	10000
ЛФ-40-2	40	220	1600	131	7500

Теоретическая световая отдача ЛЛ может достигать 60-70 лм/Вт при сроке службы 5 тыс. ч. ЛЛ имеют ряд положительных сторон. Большой КПД (9-12%) в области ФАР, благоприятное воздействие на растение, низкая температура колбы и долгий срок службы, удобство использования при ограниченных высотах подвески. Наряду с этим лампы имеют ПРА. Затенение ценоза, возникающее при совмещенном (естественном и



Рисунок 1.8 Люминесцентная лампа

искусственном) облучении в теплицах, низкая облучённость, необходимость их размещения в зоне обслуживания персонала ограничивают применение в светокультуре источников данного типа [83].

Успешно в светокультуре используются люминесцентные лампы ЛФР-150, в спектре которых преобладает оранжево-красная радиация (см. рис.). За счет повышенной единичной мощности, создаваемой рефлекторным слоем в верхней части колбы, который перераспределяет световой поток в нижнюю полусферу, этот тип ламп позволяет получать облучённости до 150 Вт/м^2 ФАР. Срок службы ламп 5,0 тыс. ч. [83].

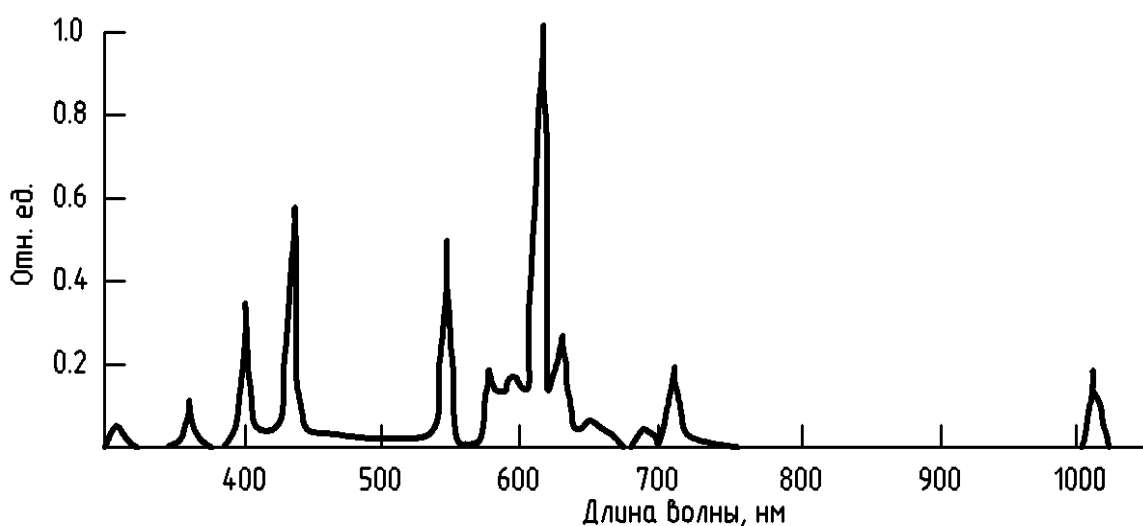


Рисунок 1.9 Распределение энергии света по спектру люминесцентной лампы ЛФР-150 [44]

Однако в целом единичная мощность этих ламп, как и других типов ЛЛ, остается очень низкой в сравнении с газоразрядными лампами высокого давления. Из-за этого недостатка, а также больших габаритов в настоящее время применение люминесцентных ламп ЛФР-150 в светокультуре растений невелико [83].

На работу люминесцентных ламп существенно влияют и факторы окружающей среды. Оптимальным интервалом рабочей температуры считается температура воздуха $18...25^\circ\text{C}$. Отклонение её от указанных значений приводит к уменьшению потока излучения и эффективной отдаче

ламп, а также ухудшает условия их зажигания. При низких положительных значениях температуры воздуха напряжение зажигания ламп повышается на 20...25%, при отрицательной температуре вероятность зажигания близка к нулю. Увеличение относительной влажности воздуха до 70...90% сопровождается повышением напряжения зажигания ламп [6].

Натриевая лампа низкого давления обладает хорошей расчетной световой отдачей излучения, правда практическое значение ниже расчетного, так как велики потери в довольно сложных пусковых устройствах [44].

Натриевые лампы низкого давления, например ДНАО-140, имеют почти монохроматическое излучение в зоне 589,6 нм. Мощность таких ламп 140 Вт, светоотдача около 70 лм/Вт. Они не нашли широкого применения из-за резко выраженного квазимонохроматического спектра излучения и низкой интенсивности света [83].

Среди газоразрядных ламп высокого давления в теплицах России используются ДРЛФ-400, ДНат-400, ДНатЗ-400 и другие [23,29]

Лампы ДРЛФ-400 (рис.1.10) – дуговые ртутно-люминисцентные фитолампы мощностью 400 Вт. Лампа имеет линейчатый спектр с большими интервалами между линиями [8].

Максимум излучения происходит на зеленую (550 нм) и синюю (436 нм) области спектра. Из-за отсутствия в спектре этих ламп излучения в красной(640-680 нм) они непригодны для выращивания растений при полном искусственном освещении. Растения пшеницы не наливают зерно, наблюдается стерильность пыльцы, плохо растут люцерна, овес, плодоносящие томаты, перец и др. Однако эти лампы находят широкое применение для досвечивания рассады огурцов и томатов в теплицах, как источник сине-фиолетовой радиации, которой недостаточно в солнечном спектре в зимнее время [27]. Рассада, выращена с применением этих ламп, имеет короткие стебли и черешки, утолщенную пластинку листа с высоким содержанием хлорофилла. Помимо неполноценности спектра лампы имеют низкий к.п.д. по ФАР – 12% [26, 68]. Для восполнения излучения в

длинноволновой области спектра эти источники иногда применяют в одном светильнике с лампами ДНаТ-400 [44].

Лампы ДРЛФ включают в сеть через пускорегулирующие аппараты, стоимость которых составляет от 50 до 250% от стоимости лампы, при этом они имеют вес от 10,5 до 52 кг на кВт мощности, что увеличивает нагрузки теплиц [83].



Рисунок 1.10 Лампы ДРЛФ-400

Несмотря на эти и другие недостатки этих ламп, они по-прежнему широко используются при облучении растений. При использовании ламп при облученностях выше 150 Вт/м² ФАР необходима принудительная вентиляция и кондиционирование, устраняющие перегрев растений. Для этого лампы размещают в специальных продуваемых отсеках [83].

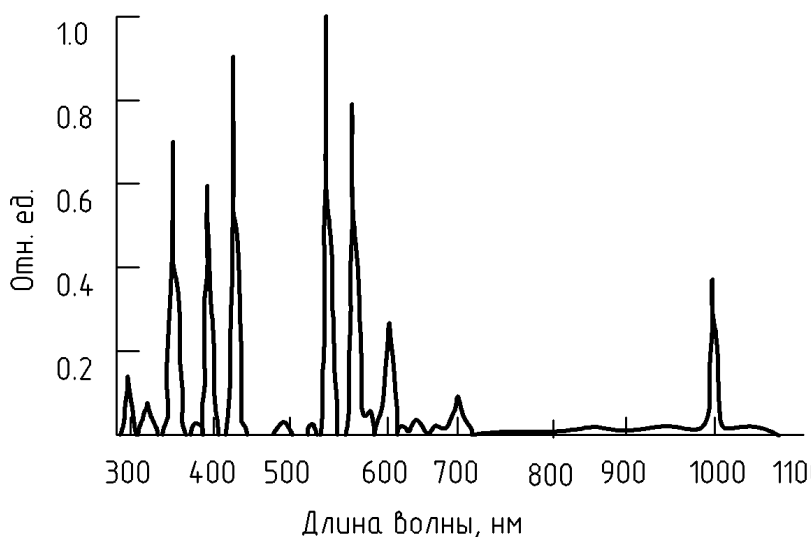


Рисунок 1.11 Распределение энергии света по спектру ламп ДРЛФ-400

ДНаТ-400 – натриевые лампы высокого давления мощностью 400 Вт (рис.1.12), дающие излучения в желто-оранжевой области спектра с

максимумом 594-600 нм. Лампы имеют высокий к.п.д. по ФАР – 28-30% [36,68], однако спектр этих ламп также неполноценен. Для его «исправления» необходимо добавить излучения в синей области и желательно в красном спектральном диапазоне 660-680 нм.



Рисунок 1.12 Лампы ДНаТ-400

Растения, выращенные при невысокой облученности этих ламп, вытянуты, содержат меньшее количество хлорофилла. Эти лампы эффективны при досвечивании рассады, но менее приемлемы для выращивания плодоносящих культур при полном искусственном освещении [44].

Параметры натриевых ламп высокого давления стабильны в широком диапазоне внешних условий. Имея благоприятный спектр для ряда культур, эти лампы с

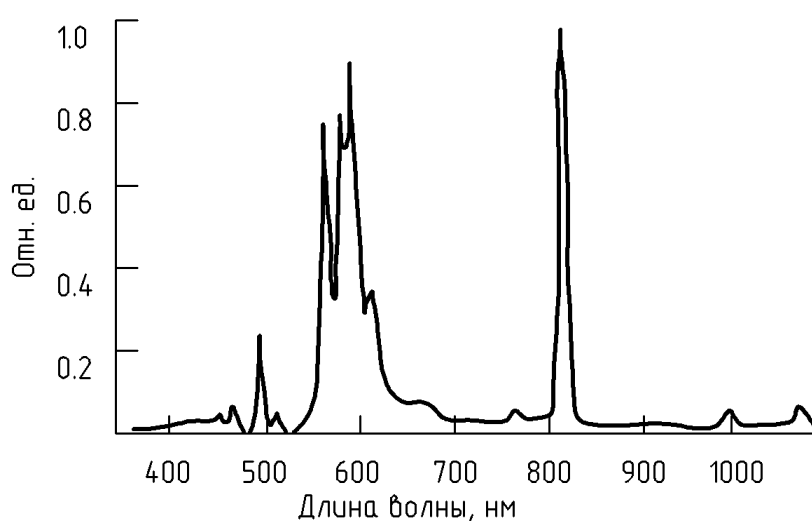


Рисунок 1.13 Распределение энергии света по спектру лампы ДНаТ-400

успехом используются в овощеводстве, цветоводстве, селекции, в исследовательской практике [83].

Современные натриевые лампы высокого давления Lucalox HO фирмы GE (рис.1.15) являются предпочтительными для крупномасштабного профессионального растениеводства. Они представляют отличную

комбинацию источников света высокой эффективности (энергоэкономичности), хорошего светораспределения и большого срока службы. (табл.1.2) [98].

Лампы преобразуют электрическую энергию в свет со спектром излучения, представленным на рисунке 1.14. Лампа Lucalox HO содержит амальгаму натрия и ртути, находящуюся не в разрядной трубке, а во внешнем металлическом резервуаре разрядной трубки.

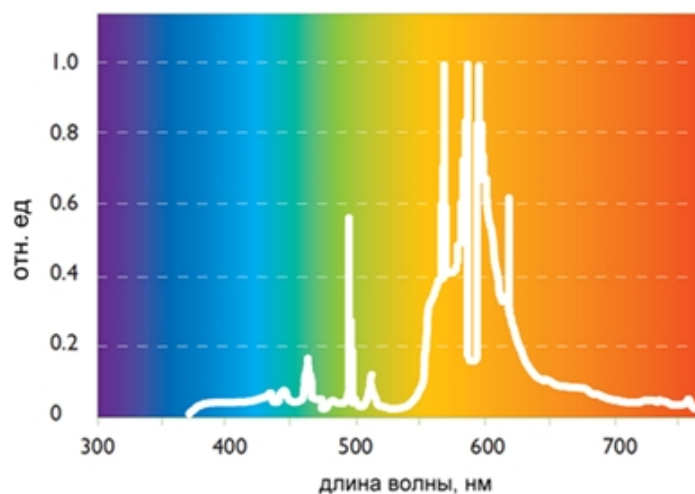


Рисунок 1.14 Спектр тепличной натриевой лампы ДНаЗ Lucalox HO

Часть амальгамы испаряется при включении лампы и поступает в разрядную трубку, но только в строго ограниченном количестве, необходимом для стабильной работы лампы. В разрядной трубке отсутствует избыток амальгамы, способной убывать путем диффузии или взаимодействовать с электродами при старте.

Уникальная конструкция резервуара GE обеспечивает строго ограниченное поступление амальгамы ртути и натрия в разрядную трубку в течение всего периода работы лампы.

Таблица 1.2 Характеристики лампы Lucalox HO

Тип лампы	Мощн. Вт	Свет.поток, лм	Цветовая темпер., К	Тип цоколя	Срок службы (часы)	Габариты, мм	
						L	D
LU400/HO/T/40	400	56500	2100	E40	28500	283	48
LU600/HO/T/40	600	90000	2100	E40	28500	283	48

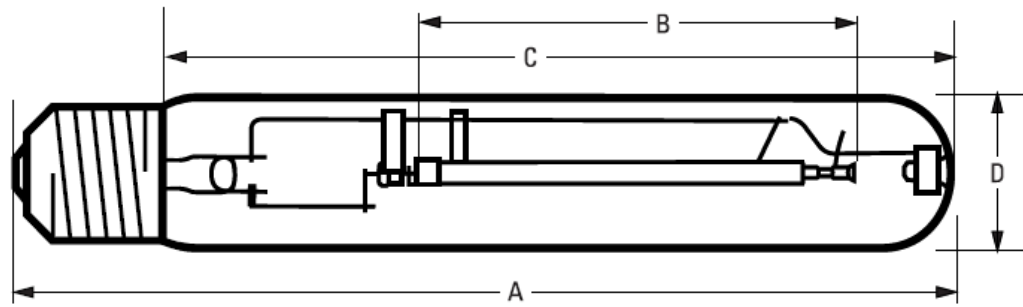


Рисунок 1.15 Конструкция и размеры лампы Lucalox HO [98].

Ксеноновые лампы. Спектр таких ламп близок к солнечному, что позволяет успешно использовать их в зимней светокультуре овощных

растений и при селекции растений с применением

искусственного

излучения. Лампы

обладают

непрерывным

спектром излучения в

диапазоне от 200 до

1300, светоотдача

33лм/Вт при сроке

службы до 1,5 тыс.

часов. Однако излучение в области около 200нм и около 900 нм значительно

превосходит солнечное, что требует защиты от этих излучений. Лампы

изготавливаются мощностью 5-50 кВт [83].

К положительным качествам ксеноновых ламп можно отнести

отсутствие дросселя, экологическую чистоту газового разряда, малый

коэффициент затенения. Основным общим недостатком является

необходимость использования импульсного напряжения (20 кВ) для поджига

лампы с соответствующим приборным и кабельным обеспечением,

сравнительно невысокий (15-17%) энергетический КПД и ряд других

неудобств [83].

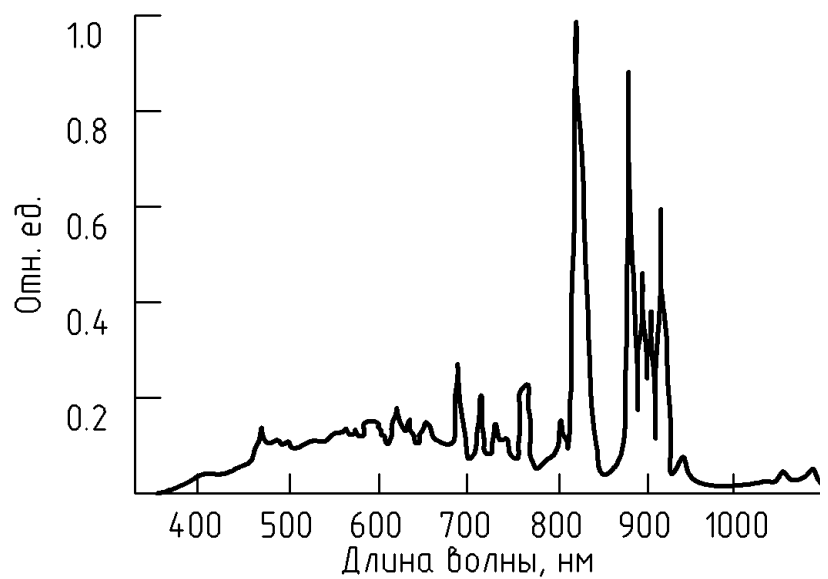


Рисунок 1.16 Распределение энергии света по спектру ксеноновой лампы.

Металлогалогенные растениеводческие лампы (МГЛ).

В настоящее время для целей светокультуры выпускают ряд МГЛ с различными добавками иодидов металлов. МГЛ также имеют линейчатый спектр и недостаточное излучение в красной области, тем не менее они наиболее перспективны, так как обладают высоким к.п.д. (25-30%) и относительно более полным спектром по сравнению с другими высокоинтенсивными источниками света [7,38,44].

ДРИ-2000-6 – МГЛ мощностью 2 кВт (рис.1.17). Наполнение – иодиды натрия и скандия. По к.п.д. (29-30%) [36,68] и по спектральным характеристикам эта лампа является лучшей среди МГЛ, применяемых для выращивания растений [44]. Лампа ДРИ 2000-6 имеет линейчатый спектр излучения в области ФАР.



Рисунок 1.17 Лампа ДРИ-2000-6 (МГЛ)

Светоотдача достигает 95 лм/Вт, срок службы 2,0 тыс. часов и более. Лампа по эффективности излучения и светотехническим характеристикам хорошо себя зарекомендовала в условиях светокультуры. [83]

Появление ламп ДРИ с наполнением, излучающим в узких участках спектра, создало реальную возможность использования различных спектральных участков ФАР в широком диапазоне интенсивностей.

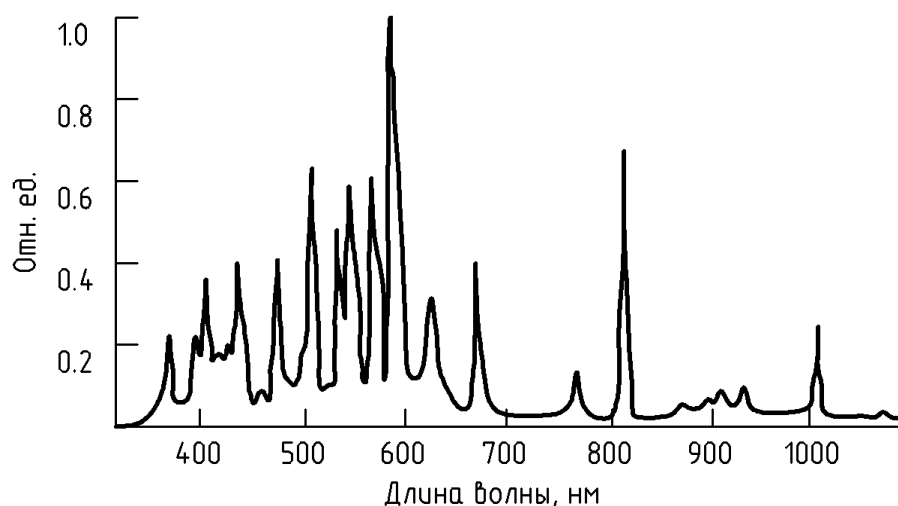


Рисунок 1.18 Распределение энергии света по спектру для лампы ДРИ 2000-6

К положительным качествам ртутно-дуговых ламп следует отнести: простоту монтажа, высокую светоотдачу, работу в тяжелых температурных условиях, благоприятное воздействие на растение за счёт повышения энергетической отдачи в области ФАР. Наряду с этим имеются отрицательные моменты: наличие тяжёлой ПРА; большая нагрузка на конструкции теплиц; большая неравномерность облучения (50-70%) [28,83]

Таблица 1.3 КПД источников излучения в области ФАР[31]

Лампы	Мощность P , Вт	<i>Клешнин, 1954</i>	<i>Тихомиров, 2000</i>	<i>Айзенберг, 2006</i>
		Значения коэффициента $\eta_{\text{ф}}$, %		
Накаливания	var^1	10-20	2-4; до 8 ²	-
Люминесцентные	18	-	9-12%	19
	36	-		23
	50	17,2		-
	58	-		28
Ртутные высокого давления	400	10,8 ³	-	12 ⁴
Натриевые высокого давления	250	-	-	28
	400	-	24-26	33
	600	-	-	36
	1000	-	-	31

¹— P не указана; ²—галогенные; ³—в стеклянной оболочке; ⁴—с исправленной цветностью.

Таблица 1.4 Поправочные множители для перехода от показаний облученности ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в области ФАР к показаниям освещенности (клк) (Геллер и др., 1981) [36]

Источник излучения	Поправочный множитель для перехода от облученности ФАР, $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{клк}^{-1}$
Лампа накаливания	4,4
Дневной свет ($T_{\text{ц}}=6500\text{ К}$)	3,9
ДРИ250	3,6
ДРЛФ1000	4,9
ДНаТ400	3,0
ДРЛФ400	3,9
ЛБ	3,4
ЛФ-2	3,7

Малышев В.В. [36] в своей диссертации приводит значения поправочных коэффициентов для перехода от показаний освещенности в люксах в $\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР, по зарубежным данным, можно принимать следующими: для солнечного света - 0,00402; для НЛВД типа ДНАЗ - 0,00245; для МГЛ - 0,00305; для ДРЛ - 0,00262. Таким образом, несмотря на то, что нормируемая освещенность под МГЛ несколько меньше, под ДНАЗ, облученности под облучательной установкой в области ФАР составляют: с МГЛ - 24 $\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР; с ДНАЗ - 20 $\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР; с ДРЛФ - 10,5 $\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР.

Таблица 1.5 Техничко-экономические показатели источников излучения [31]

Тип	Источник излучения	P, кВт	τ , тыс. часов	КПД ФАР, %
Люминесцентные	ЛБ-40	0,04	12	22
	Osram Fluora	0,018	10	20–22
Ртутные высокого давления	ДРЛФ-400	0,4	1	11
	ДРФ-1000-04	1,0	2	-
Натриевые высокого давления	MASTER SON-T PIA Agro-400	0,4	17	28
	ДНаЗ-400	0,4	12	26
	ДНаЗ-600	0,6	18	30
	Sylvania Grolux SHP-TS	0,25	24	26–28
	Sylvania Grolux SHP-TS	0,4	24	26–28
	MASTER GreenPower	0,6	10	26–28
Металлогалогенные	PLANTASTAR	0,6	12	35
	Growmaster HIT	0,25	10	25
	ДРИ 2000-6	2,0	2	26
Ксеноновые	ДКсТЛ 10000	10,0	<1	12–16
	ДКсТВ 6000	6,0	<1	-

1.3 Применение светодиодов для освещения растений в защищенном грунте.

Светодиод (англ. light-emitting diode, LED) — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении [50].

Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в области р-п-перехода при пропускании электрического тока (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой)

Светодиоды излучают свет только в узком спектре, который определяется полупроводниковым материалом. Поэтому представлены в продаже в основном светодиоды различных цветов - синий, голубой, зеленый, янтарный, красно-оранжевый, красный и т. д.. Получить же «сложный» цвет можно, как один из способов, совместным использованием в одном осветительном приборе светодиодов разных типов.[53]

Основные современные материалы, используемые в кристаллах светодиодов[50,52]:

- InGaN - синие, зеленые и ультрафиолетовые светодиоды высокой яркости;
- AlGaInP - желтые, оранжевые и красные светодиоды высокой яркости;
- AlGaAs - красные и инфракрасные светодиоды;
- GaP - желтые и зеленые светодиоды.

Получить белый цвет свечения можно несколькими способами [51,53]:

1. Смешивание цветов по технологии RGB. С помощью линзы или другой оптической системы смешиваются излучения трех светодиодов (красный, голубой и зеленый), плотно размещенных на одной матрице. Данный способ позволяет как получить белый цвет, так и изменять цветовую диаграмму при изменении тока через разные светодиоды. Обеспечивается

высокий суммарный световой поток при большом количестве светодиодов в матрице. Но из-за неравномерного отвода тепла с краев матрицы светодиоды нагреваются по-разному и различно меняется их цвет за время эксплуатации

2. Ультрафиолетовый светодиод покрывают тремя люминофорами, имеющими излучение в голубом, зеленом и красном диапазонах. В этом схожесть с свечением люминесцентной лампы

3. Близкий к белому цвет получают нанесением желто-зеленого или зеленого плюс красный люминофоров на голубой светодиод

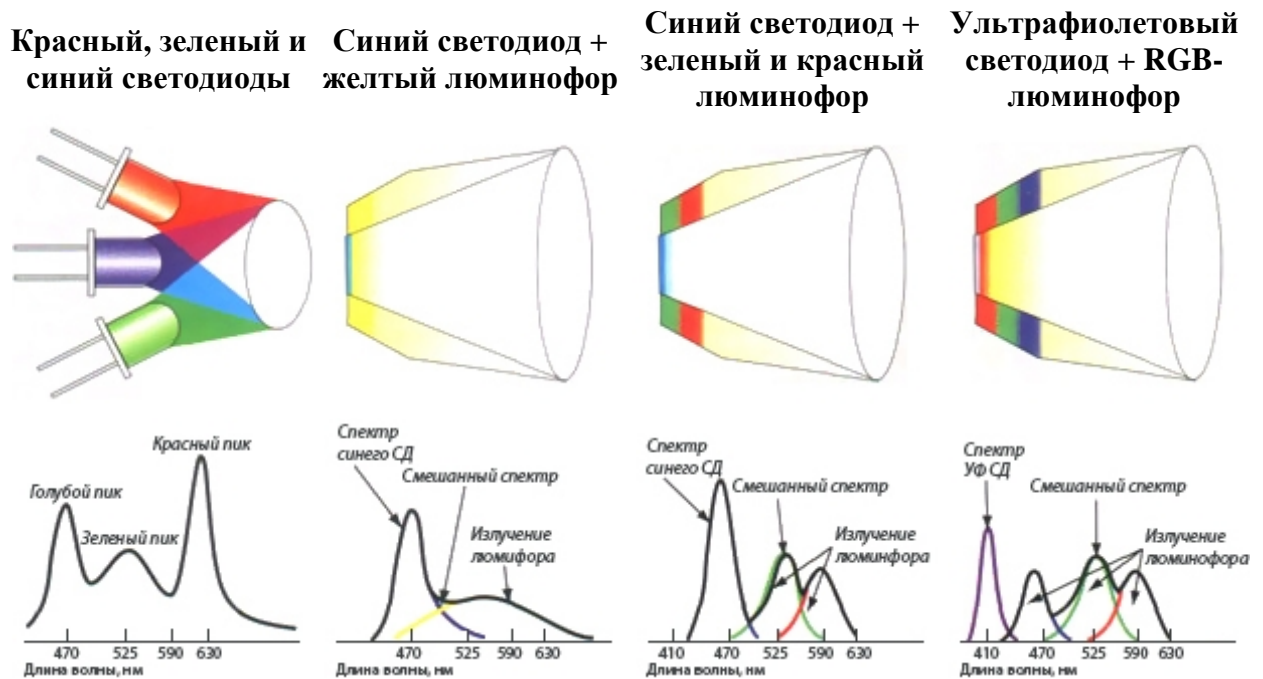


Рисунок 1.19 Способы получения белого цвета свечения светодиода

Светодиоды с люминофорами дешевле RGB-матриц и дают хороший белый цвет. Однако светоотдача из-за преобразования света в слое люминофора меньше, чем у RGB-матриц. И к тому же равномерное нанесение люминофора достаточно трудная задача в технологическом процессе. Ещё люминофор стареет быстрее, чем сам светодиод [1,9,50].

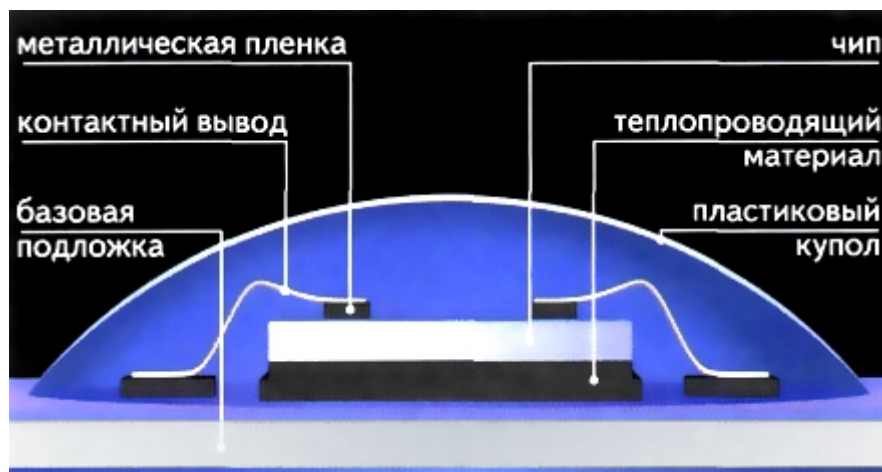


Рисунок 1.20 Схематическое представление светодиода

В отличие от ламп накаливания, светодиод управляется током. Связано это с тем, что падение напряжения на светодиоде в прямом направлении — характеристика непостоянная, и разброс ее значений для светодиодов одного типа может составлять до $\pm 10\%$ от среднего значения. Кроме того, падение напряжения на светодиоде будет меняться в зависимости от условий эксплуатации (температуры окружающей среды, температуры кристалла светодиода и тока, протекающего через светодиод), а также от времени работы (вследствие деградации кристалла). Значение падения напряжения в прямом направлении также будет разным для светодиодов различного исполнения. Исходя из этих соображений, в электрических характеристиках принято указывать рабочий ток светодиода, а характеристики светового потока и падение напряжения на светодиоде даются при рабочем токе.

Как видно из рисунка 1.21, в рабочих режимах ток экспоненциально зависит от напряжения и незначительные изменения напряжения приводят к большим изменениям тока. Поскольку световой выход прямо пропорционален току, то и яркость светодиода оказывается нестабильной. Поэтому ток необходимо стабилизировать. Кроме того, если ток превысит допустимый предел, то перегрев светодиода может привести к его ускоренному старению [40,54].

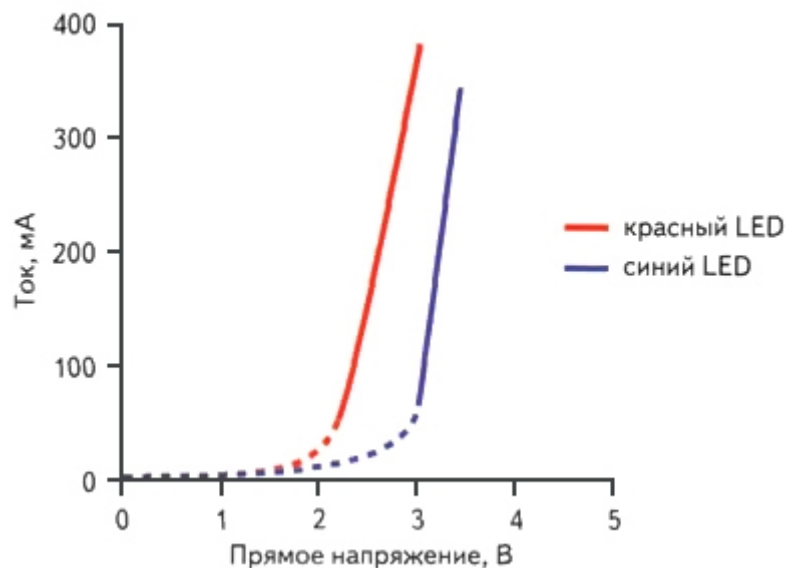


Рисунок 1.21 Зависимость силы тока от напряжения питания светодиода

Чтобы запитать светодиод наиболее эффективно (с наименьшими потерями) и тем самым повысить КПД, применяют специальные DC/DC-или AC/DC-преобразователи — светодиодные драйверы. Одна из задач таких драйверов — поддержание постоянного тока на светодиоде (типичное значение для мощных светодиодов — 350 мА) путем динамического изменения напряжения [89].

Светоотдача светодиодного источника света зависит от температуры, при которой функционируют светодиоды. При температурах более +80 °С их светоотдача заметно снижается и стремится к нулю при температуре выше +120 °С [14].

Нарушение температурного режима при эксплуатации является основной проблемой, вызывающей снижение рабочего ресурса светодиодов. В свою очередь, температурный режим определяется конструкцией светильника. [11,69]

Также стоит отметить, что, как и у всех других источников света, параметры светодиодов ухудшаются с течением времени, и это связано с такими факторами, как величина прямого тока, теплоотвод, тип и качество используемых чипов [43].

Раньше в светодиодных сборках было очень много светодиодов. Сейчас, по мере увеличения мощности, светодиодов становится меньше, зато оптическая система, направляющая световой поток в нужный телесный угол, играет все большую роль.

Светодиодные системы способны обеспечить ряд преимуществ перед традиционными системами освещения:

- Энергоэффективность
- Светодиодные источники света являются направленными и излучают свет только в нужном направлении. Значительно меньшая, чем у КЛЛ, светящая поверхность позволяет использовать более эффективную оптику и лучше управлять светом.

- Качество света белых светодиодов теперь сравнимо с качеством света КЛЛ, разрядных ламп высокого давления и люминесцентных ламп. Последние достижения в области производства светодиодов обеспечивают постоянство цвета и цветовую температуру, эквивалентные или превосходящие эти характеристики у традиционных источников света.

- Существенно увеличенный полезный срок службы светодиодов по сравнению с традиционными источниками света. В результате этого сокращаются затраты на замену и обслуживание. Так, галогенные лампы следует менять в 12–20 раз чаще, чем светодиодные.

- В отличие от традиционных источников света, светодиоды могут использоваться даже после существенного снижения светового потока. При этом полный выход из строя происходит очень редко.

- С момента появления светодиодов ежегодно отмечается 35%-ное повышение их эффективности по параметрам светового потока. При этом вот уже в течение нескольких десятилетий происходит ежегодное снижение стоимости светодиодов в среднем на 20%. Другими словами, общая эффективность светодиодов удваивается каждые 1,5–2 года.

- Светодиодные осветительные приборы генерируют тепло, но испускаемые ими пучки света являются холодными. Светодиодные световые

приборы с хорошо сконструированным теплоотводом защищают пользователей от чрезмерного и вредного тепла.

- Светодиодные источники света могут работать при низких температурах и выдерживать воздействие вибраций, что позволяет использовать их в суровых условиях, где невозможно установить и обслуживать традиционные лампы. В светодиодах нет подвижных частей и нитей накала, которые могут легко разрушаться и выходить из строя.

- LRGB-светильники и приборы с настраиваемым белым светом могут легко воспроизводить миллионы цветов и иметь различные цветовые температуры без использования светофильтров.

- Управление работой светодиодных систем освещения может осуществляться при помощи цифровых контроллеров, обеспечивающих максимальную эффективность и высокую гибкость.

- Светодиодные световые приборы является безынерционными: не требуется времени для прогрева или отключения, отсутствует вредное воздействие циклической подачи питания и диммирования.

- Качественно разработанные светодиодные системы освещения обеспечивают простоту и гибкость установки, не требуя дополнительных источников питания – достаточно обычной электропроводки. Повысить энергоэффективность и упростить установку призваны разъемы быстрого подключения, а также устройства для ограничения потребляемого тока, защиты от неправильного подключения и коррекции коэффициента мощности.

- В отличие от люминесцентных ламп, содержащих ртуть и требующих специального обращения и утилизации, светодиоды не содержат ртути и являются безопасными для окружающей среды.

Современные светодиоды перекрывают весь диапазон оптического спектра: от красного до ультрафиолетового цвета. Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом

диапазоне. Это позволяет при облучении растений создать источник света, в котором будет оптимальное соответствие относительной спектральной эффективности фотосинтеза растений.

Современные теплицы представляют собой сложные технические комплексы, в которых для искусственного освещения растений используются лампы аграрные натриевые лампы.

Современные светодиоды постепенно применяются в теплицах совместно с существующими системами освещения. Светодиоды позволяют дополнять спектр существующих растениеводческих ламп благодаря своему многообразию цветов свечения и повышающейся с каждым годом эффективностью. В основном применяются для освещения растений светильники с красно-синими светодиодами [2,3]

1.4 Обоснование системы электропитания тепличных светодиодных светильников.

Светодиоды являются низковольтными источниками света с напряжением питания 1,5...3,5 В, и к тому же у любого светодиода имеется сильная зависимость тока от напряжения, которая описывается вольт-амперной характеристикой. Так как эта зависимость экспоненциальная, для питания светодиода необходимо задавать ток [45]



Рисунок 1.22

В простейшем варианте светодиоды питают от источника напряжения, а ток задают резистором.

Есть несколько способов подключения светодиодов. Их можно выделить как: параллельное, последовательное и смешанное включение.

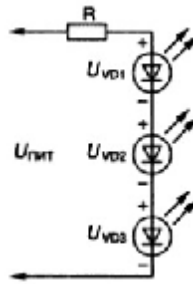


Рисунок 1.23 Последовательное подключение

Ток, протекающий через светодиоды, подключенные по этому способу будет равен:

$$I = \frac{U_{\text{пит}} - (U_{vd1} + U_{vd2} + U_{vd3})}{R}, \text{ А.} \quad (1.1)$$

Недостатки такого подключения[45]:

1. При увеличении количества светодиодов повышается напряжение, так как для этого должно соблюдаться условие:

$$U_{\text{пит}} > U_{vd1} + U_{vd2} + U_{vd3} \quad (1.2)$$

2. Повышение количества светодиодов снижает надежность системы.

При разрушении одного светодиода, все остальные перестают.

3. Дополнительные потери мощности на ограничивающем резисторе.

Параллельное подключение.

Параллельное включение светодиодов определяет собой следующее: через каждый СИД идет отдельный ток, задающийся отдельным резистором.

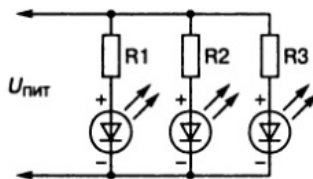


Рисунок 1.24 Параллельное включение светодиодов

Суммарный ток в данном случае будет равняться:

$$I = \frac{U_{\text{пит}} - U_{vd1}}{R1} + \frac{U_{\text{пит}} - U_{vd2}}{R1} + \frac{U_{\text{пит}} - U_{vd3}}{R1} \quad (1.3)$$

Преимущества данного способа – высочайшая надежность. При разрушении одного светодиода, остальные будут оставаться в работе.

К недостаткам стоит отнести:

- увеличенные потери на резисторах

Наиболее эффективной схемой включения является смешанное включение светодиодов.

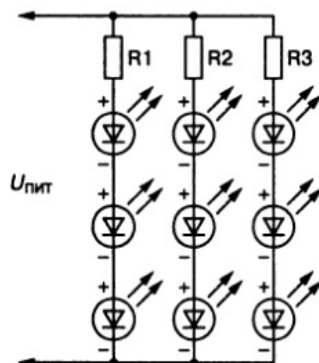


Рисунок 1.25 Смешанное подключение светодиодов

В этом способе количество последовательно смонтированных светодиодов определяется напряжением питания. А число параллельных ветвей зависит от необходимой мощности светильника. Суммарный ток будет определяться по формуле:

$$I = \frac{U_{пит} - nU_{vd}}{N \cdot R} \quad (1.4)$$

n - число светодиодов, последовательно подключенных в одной ветке

N - количество параллельных ветвей

Такое соединение совмещает в себе плюсы как последовательного, так параллельного включения светодиодов.

Из-за нелинейности вольт-амперной характеристики, схема питания светодиодов через резисторный ограничитель имеет еще один недостаток, - нестабильность тока, проходящего через светодиоды при изменении напряжения питания. Для устранения этого явления, применяют схемы стабилизаторов тока [45]

Но все эти приемы подходят только при наличии низковольтного источника питания, который естественно отсутствует в птицеводческом производстве.

Существуют, так же простейшие схемы включения светодиодов от сети 220 В, 50 Гц. В таких схемах необходимо учитывать, что максимальное обратное напряжение, прикладываемое к светодиоду не должно превышать

5...20 В, поэтому для включения светодиодов от сети применяют следующие схемы включения:

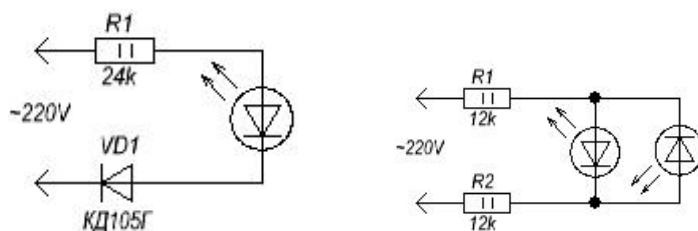


Рисунок 1.26

В схемах с гасящим резистором, на резисторе выделяется значительная мощность.

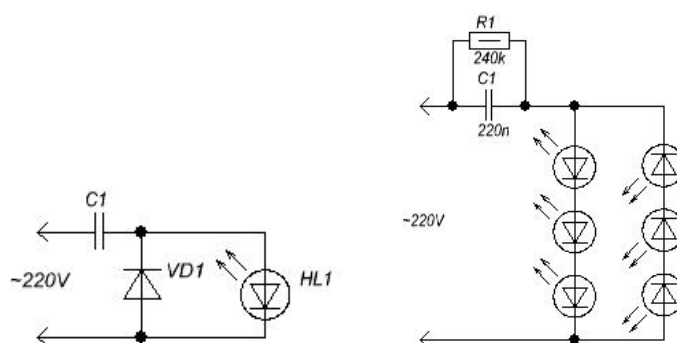


Рисунок 1.27

Схемы с гасящим конденсатором имеют высокий КПД, но имеют очень низкий $\cos\phi$. При этом светильник потребляет большой ток [45].

Недостатком всех рассмотренных схем включения светодиодов от сети 220 В, является так же пульсации светового потока.

Специализированное электрическое питание светодиодов – одна из проблем, которая всегда стоит на первом месте перед производителями источников света [45]. К источникам питания предъявляются следующие требования:

1. Блок питания светодиодов должен сохранять работоспособность не менее 50000 часов, при этом соблюдая необходимые характеристики.

2. Питание к светодиодам должно подаваться стабилизированным по току. Лучшим считается вариант, когда величина тока стабилизируется по температурной зависимости СИ кристалла. Также, питание должно включать в себя защиту от перенапряжения и конечно же обратной полярности.

3. Цена такого источника питания должна быть не намного выше цены самого светодиода (светодиодного модуля).

Источники питания светодиодов обычно называют драйверами.



Рисунок 1.28

У драйверов основными характеристиками являются выходной ток и мощность.

КПД **универсальных драйверов** хуже, чем у драйверов, рассчитанных на фиксированное количество светодиодов. Также драйвера с фиксированным количеством диодов обычно содержат защиту от нештатных ситуаций. Большинство драйверов плохо переносят подключение к питающему напряжению без нагрузки. У большинства драйверов отсутствует гальваническая развязка с сетью 220 В. Высокие импульсные помехи в сеть. Низкий коэффициент мощности. Недостаток - высокая стоимость [45].

Расчет мощности необходимого драйвера необходимо делать с запасом 15...25% от необходимой мощности.

По сфере применения драйвера можно разделить на три группы:

встроенные в светодиодные лампы;

встроенные в светодиодные светильники;

внешние для низковольтных светодиодных ламп и светильников.

Внешние драйвера можно также разделить на две категории: продаваемые отдельно от светильника и идущие с ним в комплекте. В первом случае они рассчитаны на питание разнообразной осветительной аппаратуры. В другом случае производитель не дает никаких рекомендаций по его применению с другими светильниками.

Встроенные блоки питания. Падение напряжения на светодиоде белого свечения зависит от ряда факторов, но в среднем составляет около 3,5 В. В светодиодных светильниках светодиоды объединяются в последовательные цепочки. При выходе из строя одного из светодиодов в цепочке выходит из строя вся цепочка. Возникает вопрос, а зачем светодиоды объединяют в цепочки? Неужели нельзя соединить тем или иным способом светодиоды параллельно?

Обычно выходное напряжение драйверов лежит в пределах 12 – 72 В.

При объединении светодиодов в светильниках их объединяют цепочками параллельно через токоограничительные резисторы. При разрыве одной из цепочек, сила тока, протекающая через другие цепочки, увеличивается, что может привести к выходу из строя светодиодов.

Для светодиода более важным является сила тока, который через него протекает, чем подводимое к нему напряжение. Соответственно, драйвер, встроенный в светодиодный светильник должен стабилизировать именно ток.

Внешние блоки питания. К использованию внешних драйверов прибегают в следующих ситуациях:

- особые требования по безопасности (например, повышенная влагозащищенность);
- дизайн светильника не позволяет разместить блок питания внутри корпуса;



Рисунок 1.29

Существуют также светодиодные драйверы с возможностью внешнего управления током светодиодов через DALI и другие распространенные

интерфейсы управления освещением, но такие драйверы значительно дороже и требуют дополнительной прокладки проводов управления [12,100]

Некоторые светодиодные блоки питания могут управляться через DALI и другие распространенные интерфейсы управления освещением

В лампах мощностью 2 Вт и более используется драйвер, собранный на одной микросхеме и нескольких других деталях. КПД встроенных драйверов может достигать 80%. Малые размеры используемых компонентов обуславливают низкую устойчивость таких светодиодных ламп к броскам напряжения в сети [100]

В случаях создания светодиодных систем освещения птицеводческих помещений, в основном применяются либо встроенные драйвера с внешним управлением, либо в начале линии освещения устанавливается один мощный источник питания напряжением 24 В и на всю длину помещения протягиваются низковольтные линии питания с большим током.

Для драйверов мощностью 40 Вт и более предпочтительно использование металлического корпуса, одновременно являющегося теплоотводом, что дополнительно увеличивает его стоимость [100].

КПД современных светодиодных драйверов лежит в пределах 70 – 90%. Максимальное значение КПД, как правило, достигается при нагрузке с мощностью, составляющей примерно 60 – 70% от номинальной.

Большой проблемой для работы светильников являются броски напряжения на выходе драйвера. Для светодиодов, даже кратковременные превышения напряжения недопустимы. Броски напряжения на выходе могут возникать как из-за бросков напряжения на входе, так и из-за переходных процессов при включении блока.

Также известны разработанные в ВИЭСХе резонансные системы освещения [71-74,76-78,81,91,93,97]. Резонансная система электроосвещения работает следующим образом: напряжение сети или любого другого источника электрической энергии с напряжением 2–600 В (1), подводимое к инвертору (2), преобразуется в напряжение высокой частоты, и подается на

резонансный трансформатор (4) [110], с высоковольтного вывода которого снимается высоковольтное, высокочастотное напряжение и подается на резонансную линию электропередачи (6). Второй вывод трансформатора через конденсатор (5) соединяется с землей. Светильники (8) подсоединены параллельно, одним выводом к высоковольтной линии, второй вывод каждого светильника соединен с естественной емкостью (7) в виде изолированного проводящего тела. Фонари состоят из обратного преобразователя, лампы и собственной изолированной емкости.

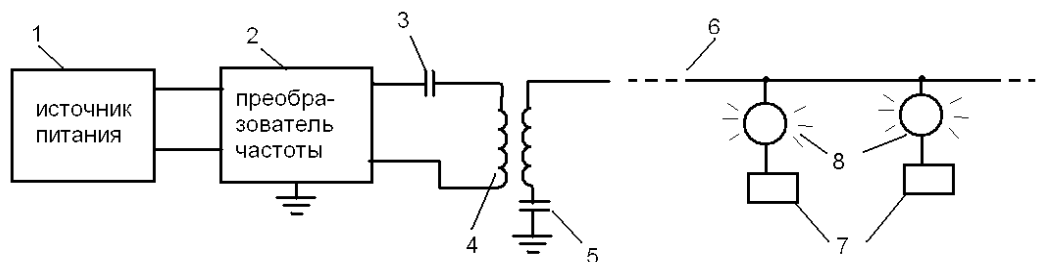


Рисунок 1.30

Выводы по главе:

Рассмотрены общие сведения, зависимость продуктивности растений от спектральных характеристик излучения, искусственные источники света, способы снижения энергопотребления в искусственных источниках света.

Анализ показал, что использование светодиодов для выращивания растений имеет положительный эффект. На светодиодах можно создавать регулируемую систему освещения.

Применение светодиодного освещения с изменяемым спектром излучения потребует применения сложной и дорогостоящей системы питания и управления или поиск новой системы питания.

Для создания широкополосной системы освещения с регулируемым спектром необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать математическую модель для определения оптимального спектрального состава светильника.
2. Обосновать параметры, состав оборудования и разработать методику расчета широкополосной системы освещения с резонансной системой питания.

3. Провести лабораторные и производственные испытания и оценить технико-экономическую эффективность внедрения комплекта технических средств в теплицах

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОЙ СИСТЕМЫ ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ.

2.1 Математическое моделирование спектрального состава светодиодного облучателя.

Известно [84], что у зеленого листа есть общая зависимость спектра действия фотосинтеза и может быть представлена в следующем виде:

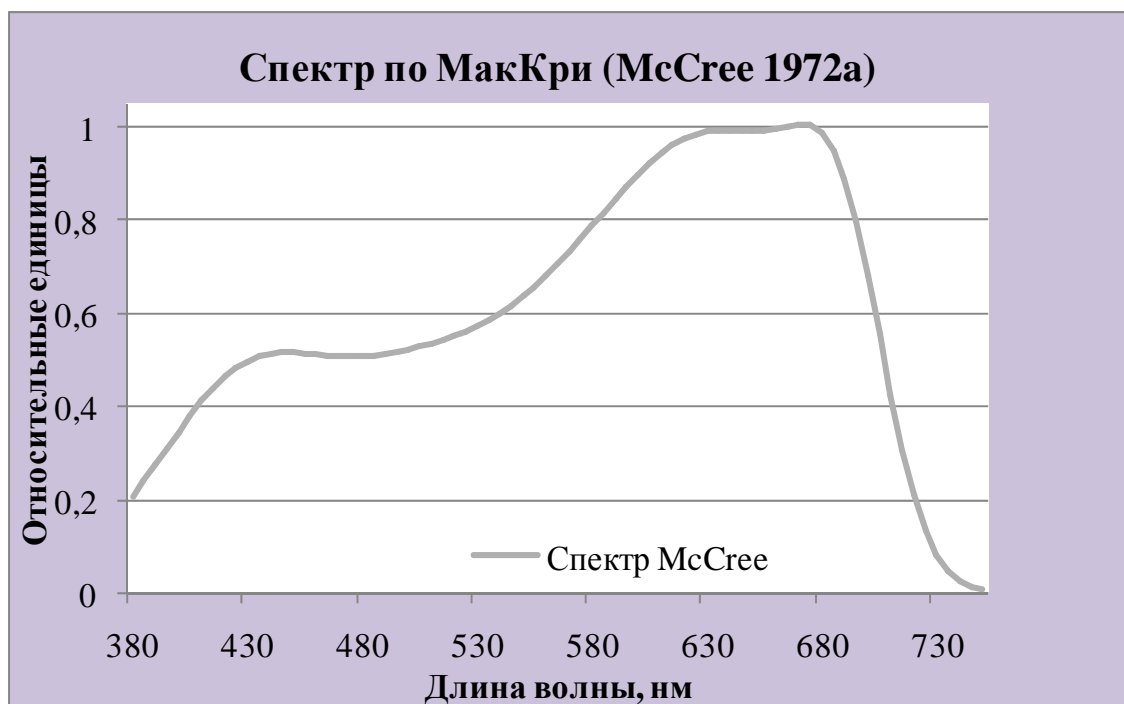


Рисунок 2.1 Усредненный спектр действия фотосинтеза у зеленых растений [McCree, 1972a]

Представленная на рисунке 2.1 зависимость может быть представлена в виде уравнения, полученного с помощью аппроксимации:

$$g(I) = 1,28 \cdot \cos(0,005 \cdot I)^2 \cdot \cos(0,63 + \sin(2,21 \cdot \sin(0,009 \cdot I) + 0,45 \cdot \sin(0,09 \cdot I))) \times \\ \times \cos(0,63 + 1,66 \cdot \sin(0,009 \cdot I)) \cdot \cos(0,63 \cdot I + 1,66 \cdot \sin(0,009 \cdot I)) \quad (2.1)$$

где, λ - длина волны в нм от 380нм до 700нм

$g(\lambda)$ - функция, основанная на спектре действия фотосинтеза, полученная по данным работ Маккри [McCree, 1972a], Инада [Inada, 1976,1977].

Источнику света необходимо иметь спектральную характеристику близкую к данной зависимости.

Для оптимизации искусственного источника света должно выполняться 3-условия:

1. Количество цветов светодиодов в светильнике должно стремиться к единице.
2. Доля совпадения спектрального распределения источника света с функцией основанной на спектре действия фотосинтеза должна стремиться к единице.
3. Мощность облучения должна находиться в диапазоне от 5 до 200 Вт/м² ФАР.

$$f_{\text{облучателя}} = \frac{\int_{380}^{700} (\sum_{i=1}^n K_i \cdot j_i(\lambda)) \cdot d\lambda}{\int_{380}^{700} g(\lambda) \cdot d\lambda}, \quad (2.2)$$

где $f_{\text{облучателя}}$ - доля совпадения спектрального распределения источника света с функцией, основанной на спектре действия фотосинтеза

$$\int_{380}^{700} (\sum_{i=1}^n K_i \cdot j_i(\lambda)) \cdot d\lambda - \text{суммарное значение спектрального распределения энергии}$$

источника света в относительных единицах в спектральном диапазоне ФАР,

$$\int_{380}^{700} g(\lambda) \cdot d\lambda - \text{суммарное значение спектрального распределения функции}$$

основанной на спектре действия фотосинтеза в относительных единицах.

Современные светодиоды разных цветов свечения имеют диапазон излучения от 370 до 1000 нм. На их основе можно создавать системы освещения с управляемым спектральным составом излучения в области ФАР для растениеводства в защищенном грунте.

Для минимизации количества цветов светодиодов определим оптимальный спектр искусственного источника света.

Рассмотрим различные светодиоды и рассчитаем их спектральные характеристики на основе паспортных данных:

Для красного светодиода получена функция спектральной плотности излучения (погрешность аппроксимации 0,044):

$$f_{\text{красный}}(I) = 0,000492 \frac{2,12 \cdot \cos(107 \cdot I) - 0,0322 \cdot I}{1,26 \cdot 10^3 \cdot I + 133 \cos(6,11 - 0,115 \cdot I) - 3,95 \cdot 10^5 - I^2} - 2,16 \cdot 10^{-6} \cdot I \quad (2.3)$$

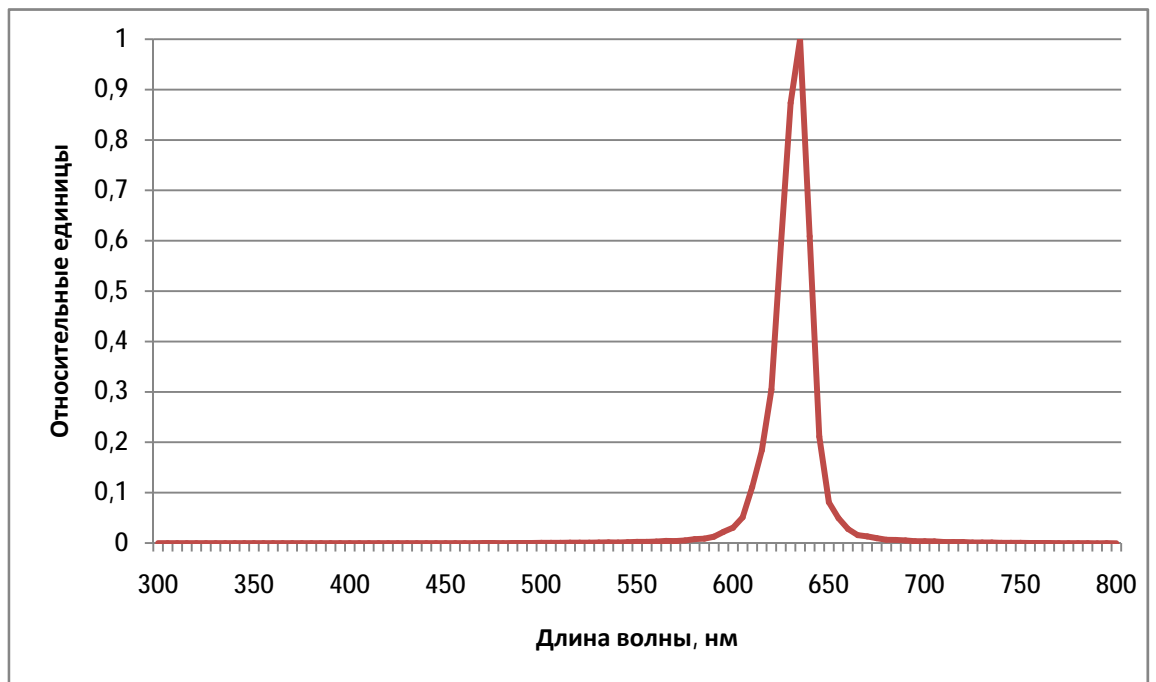


Рисунок 2.2 Спектральная плотность излучения красного светодиода

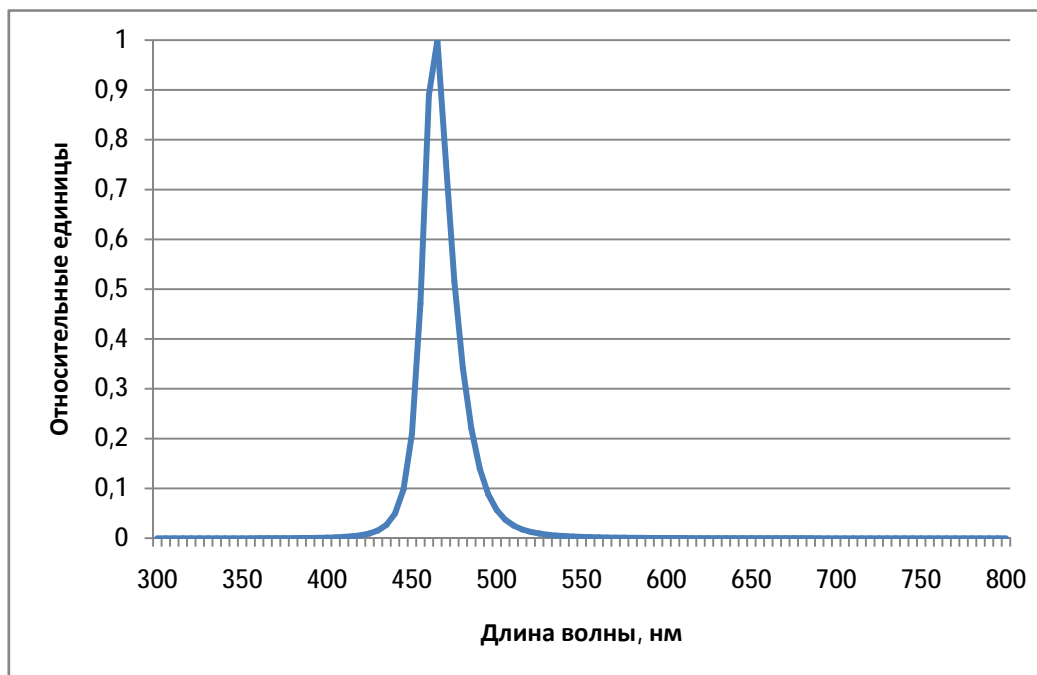


Рисунок 2.3 Спектральная плотность излучения синего светодиода

Для синего светодиода получена функция спектральной плотности излучения (погрешность аппроксимации 0,031):

$$j_{\text{синий}}(I) = \frac{2,19 \cdot 10^{-8} \cdot I^4}{7,74 \cdot 10^8 \cdot x + 2,1 \cdot 10^4 \cdot I^2 + 0,0159 \cdot I^4 - 6,58 \cdot 10^6 \cdot I - 29,8 \cdot I^3} - 6,02 \cdot 10^{-5} \quad (2.4)$$

В облучателе содержащим красный и синий цвета получается слабое перекрытие диапазона ФАР (рис. 2.4). Модель для красного и синего получается сложением этих двух спектров.

$$j_{кр+син}(I) = K_{кр} \cdot j_{красный}(I) + K_{син} \cdot j_{синий}(I) \quad (2.5)$$

$$K_{кр} = g(I_{кр.р}) = 0,994 \quad (2.6)$$

$$K_{син} = g(I_{син.р}) = 0,51 \quad (2.7)$$

где $\lambda_{кр.р}$ - рабочая длина волны красного светодиода

где $\lambda_{син.р}$ - рабочая длина волны синего светодиода

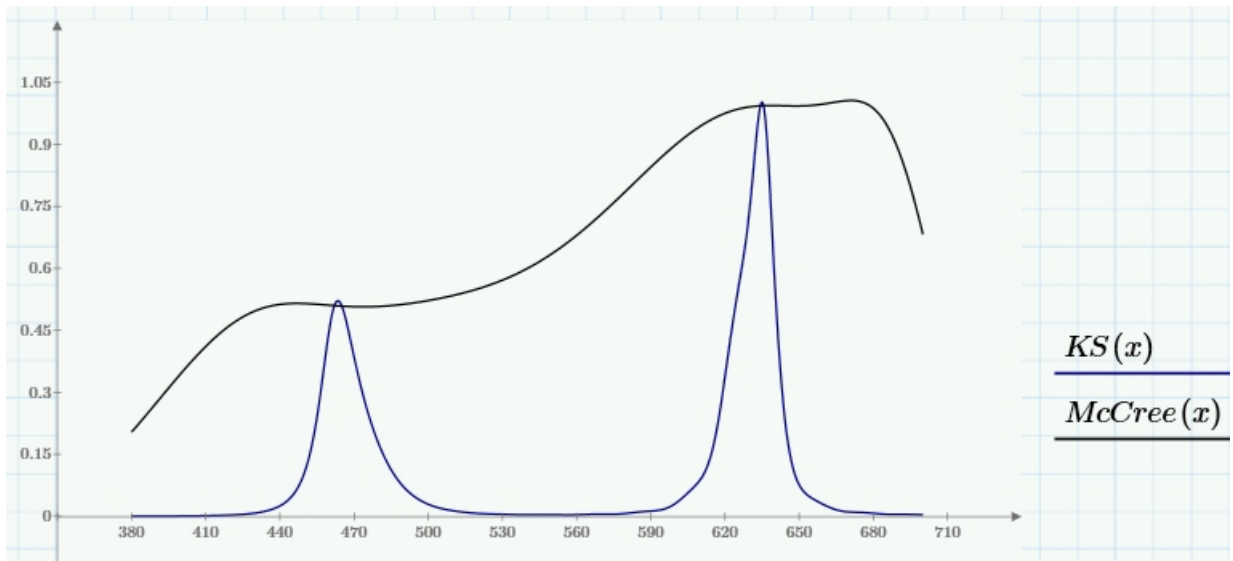


Рисунок 2.4 Спектральная плотность совместного излучения синего и красного светодиодов и функции спектра действия фотосинтеза.

В облучателе содержащим красный и синий цвета получается небольшое совпадение спектрального распределения источника света с функцией основанной на спектре действия фотосинтеза (Рис. 2.5).

$$f_{кр+син} = \frac{\int_{380}^{700} j_{кр+син}(I) \cdot dI}{\int_{380}^{700} g(I) \cdot dI} = \frac{34,3}{216,7} = 0,158 \quad (2.8)$$

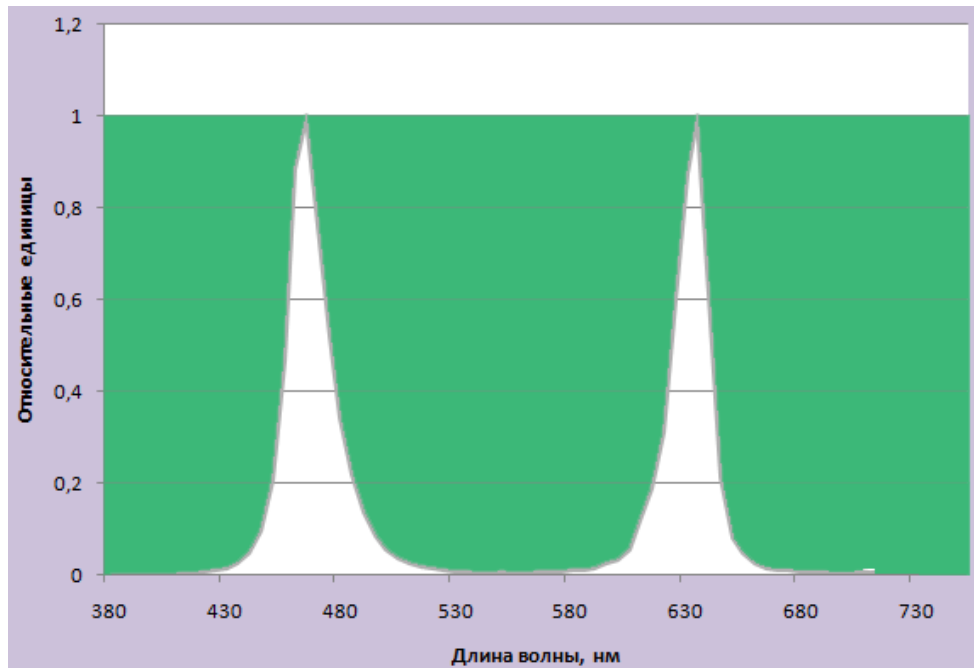


Рисунок 2.5 Доля совпадения спектрального распределения светильника Красный+Синий с функцией, основанной на спектре действия фотосинтеза

В данный момент можно использовать светодиоды других цветов, например, УФ и зеленого. Для УФ светодиода получена функция спектральной плотности излучения (погрешность аппроксимации 0,023):

$$j_{\text{УФ400}}(I) = \frac{I}{1,76 \cdot 10^9 + 6,63 \cdot 10^4 \cdot I^2 + 0,00693 I^4 - 1,76 \cdot 10^7 \cdot I - 111 \cdot I^3} \quad (2.9)$$

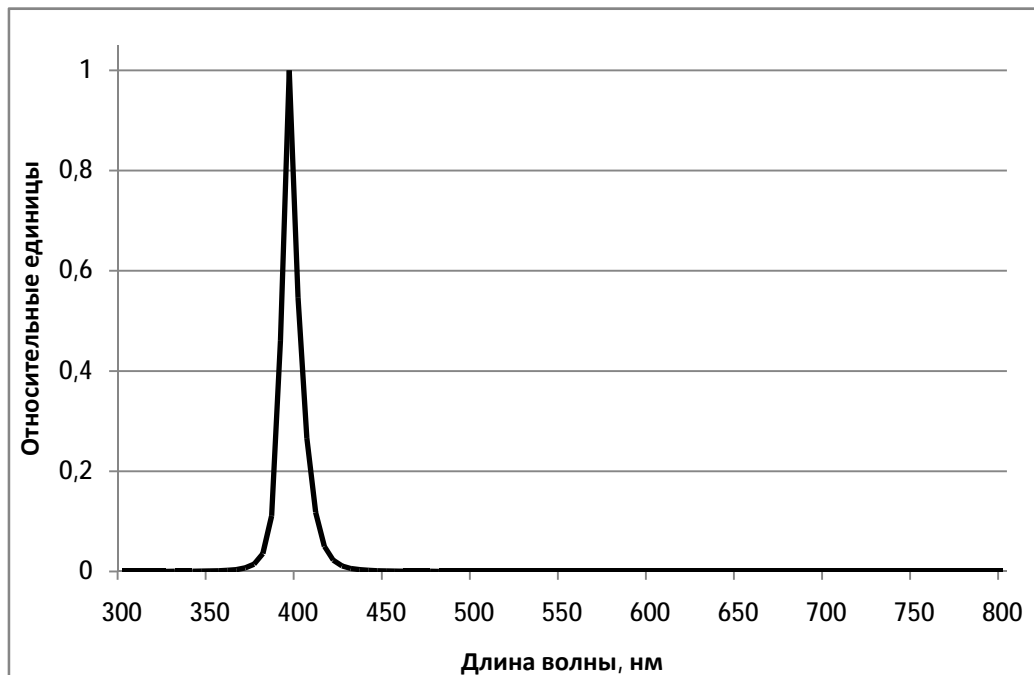


Рисунок 2.6 Спектральная плотность излучения УФ светодиода

Для зеленого светодиода получена следующая функция спектральной плотности излучения (погрешность аппроксимации 0,054):

$$j_{\text{зеленый}}(I) = \frac{151 + 180 \cdot \sin(-0,0318 \cdot I)}{2,71 \cdot 10^5 + I^2 - 1,04 \cdot 10^3 \cdot I} - 0,00364 - 0,0048 \cdot \sin(-0,032 \cdot I) \quad (2.10)$$

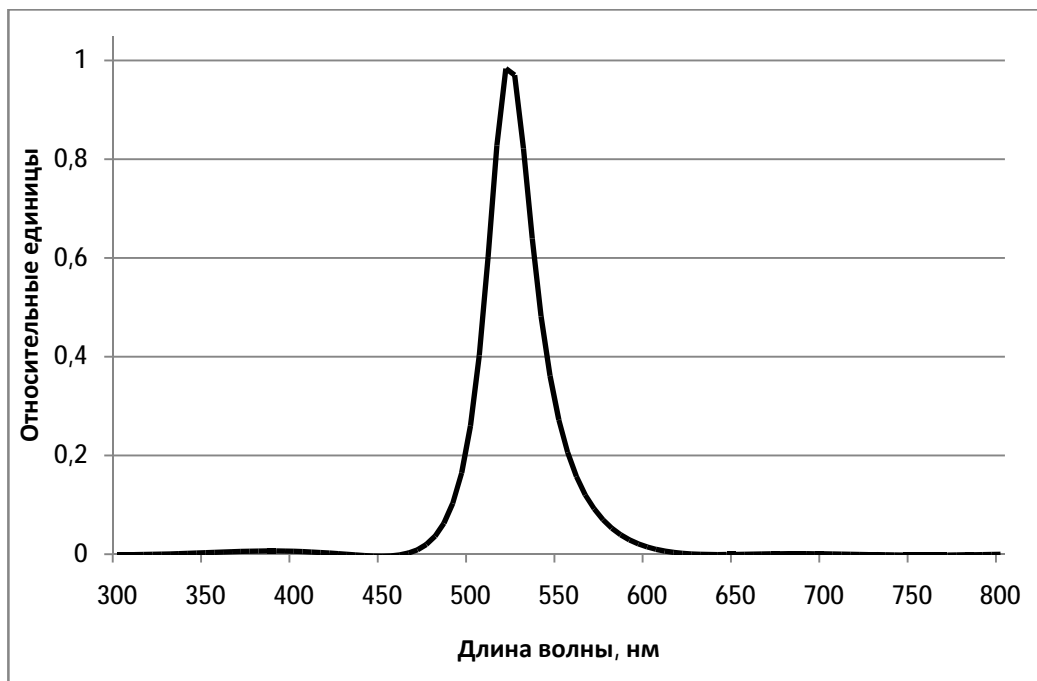


Рисунок 2.7 Спектральная плотность излучения зеленого светодиода

Модель для 4-х цветов: красный, синий, зеленый и УФ - получается следующая:

$$j_{\text{кр+син+зел+УФ}}(I) = K_{\text{кр}} \cdot j_{\text{красный}}(I) + K_{\text{син}} \cdot j_{\text{синий}}(I) + K_{\text{зел}} \cdot j_{\text{зеленый}}(I) + K_{\text{УФ}} \cdot j_{\text{УФ}}(I) \quad (2.11)$$

$$K_{\text{кр}} = g(I_{\text{кр.р}}) = 1, \quad (2.12)$$

где $\lambda_{\text{кр.р}}$ - длина волны излучения красного светодиода

$$K_{\text{син}} = g(I_{\text{син.р}}) = 0,51, \quad (2.13)$$

где $\lambda_{\text{син.р}}$ - длина волны излучения синего светодиода

$$K_{\text{зел}} = g(I_{\text{зел.р}}) = 0,55, \quad (2.14)$$

где $\lambda_{\text{зел.р}}$ - длина волны излучения зеленого светодиода

$$K_{\text{УФ}} = g(I_{\text{УФ.р}}) = 0,31, \quad (2.15)$$

где $\lambda_{\text{УФ.р}}$ - длина волны излучения красного светодиода

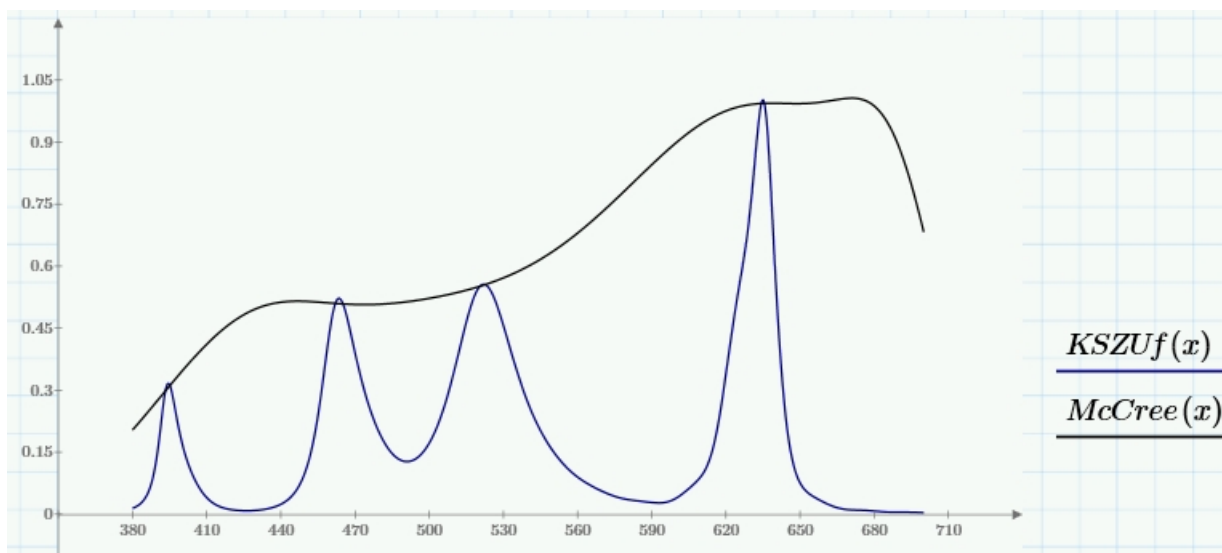


Рисунок 2.8 Сравнение рассчитанных спектров суммарного действия 4-х светодиодов и спектра действия фотосинтеза по McCree.

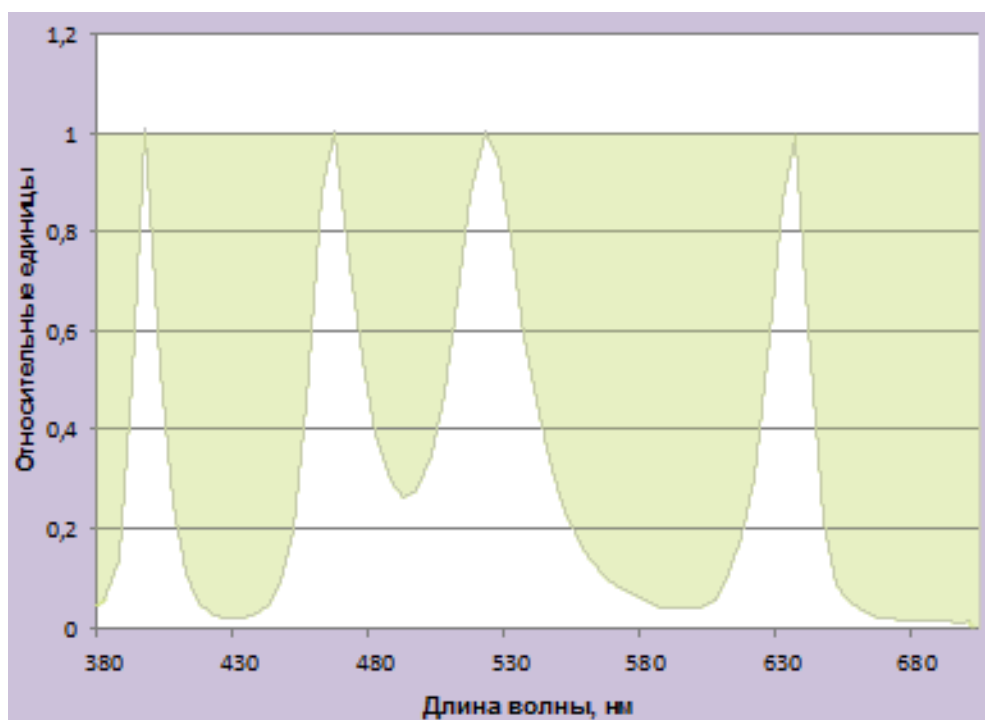


Рисунок 2.9 Доля совпадения спектрального распределения светильника Красный+Синий+Зеленый+УФ с функцией, основанной на спектре действия фотосинтеза

Доля совпадения спектрального распределения энергии в потоке излучения 4-х цветного светильника с функцией основанной на спектре действия фотосинтеза следующая:

$$f_{кр+син+зел+УФ} = \frac{\int_{380}^{700} j_{кр+син+зел+УФ}(I) \cdot dI}{\int_{380}^{700} g(I) \cdot dI} = \frac{59,956}{216,687} = 0,277 \quad (2.16)$$

Как видно из получившегося графика при комбинации данных цветов, в спектре суммарного действия всё равно имеются значительные пропуски.

В данный момент появились широкополосные оранжевые светодиоды. Для оранжевого светодиода получена следующая функция спектральной плотности излучения (погрешность аппроксимации 0,041):

$$j_{оранж}(I) = \frac{2,1 \cdot I \cdot \cos(2,4 + 0,0063 I)^3 \cos(1,5 + 0,0063 I) - 459 \cos(2,4 + 0,0063 I)^3 \cdot \cos(1,53 + 0,0063 I)}{2,66 \cdot 10^3 - 2,25 \cdot 10^3 \cos(6,68 + 0,0118 I)} \quad (2.17)$$

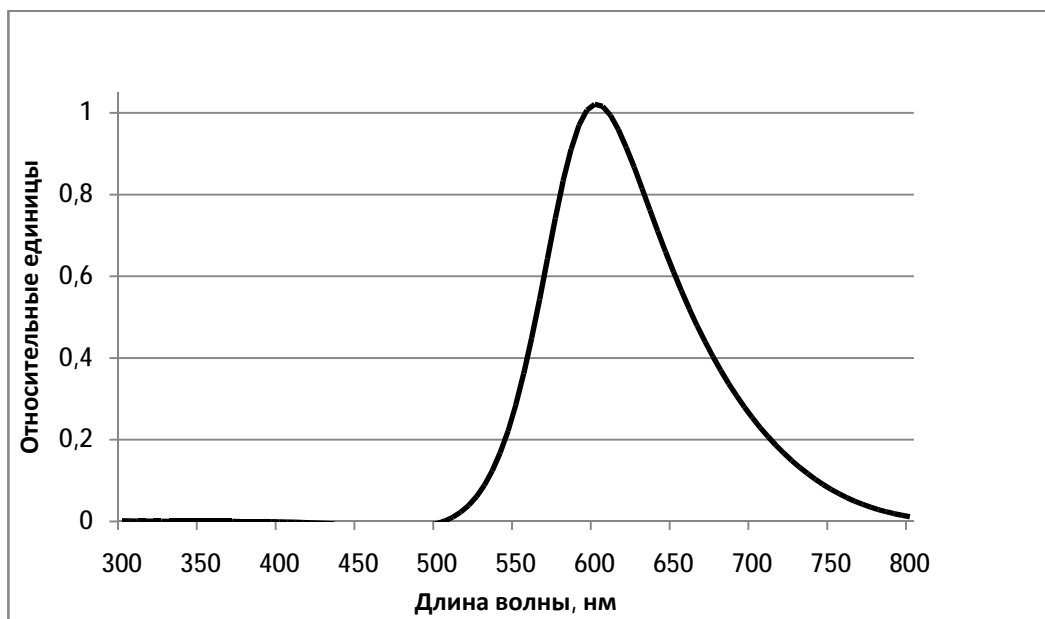


Рисунок 2.10 Спектральная плотность излучения оранжевого светодиода

Модель для 4-х цветов: оранжевый, синий, зеленый и УФ - получается следующая:

$$\Phi_{4Ц}(I) = K_{оранж} \cdot j_{оранж}(I) + K_{син} \cdot j_{синий}(I) + K_{зел} \cdot j_{зеленый}(I) + K_{УФ} \cdot j_{УФ}(I) \quad (2.18)$$

$$K_{оранж} = g(I_{оранж.р}) = 0,86 \quad (2.19)$$

где $\lambda_{оранж.р}$ - рабочая длина волны оранжевого светодиода

$$K_{син} = g(I_{син.р}) = 0,51 \quad (2.20)$$

где $\lambda_{син.р}$ - рабочая волны синего светодиода

$$K_{зел} = (g(I_{зел.р}) - K_{оранж} \cdot j_{оранж}(I_{зел.р})) = 0,51 \quad (2.21)$$

где $\lambda_{зел.р}$ - рабочая длина волны зеленого светодиода

$$K_{УФ} = g(I_{УФ.р}) = 0,31 \quad (2.22)$$

где $\lambda_{УФ.р}$ - рабочая длина волны УФ светодиода

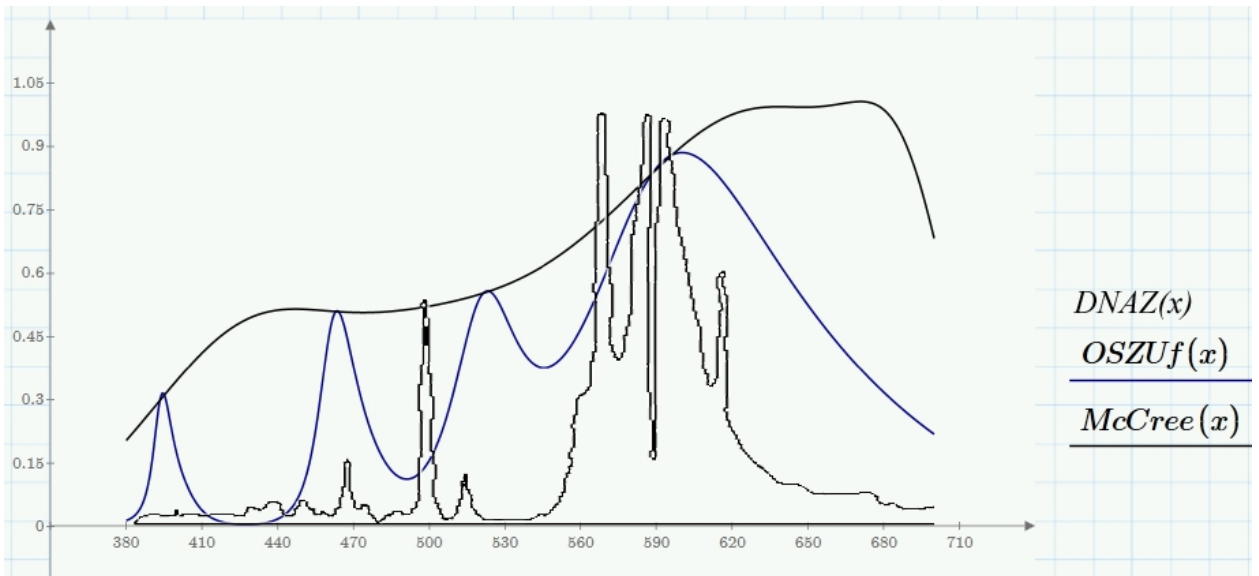


Рисунок 2.11 Сравнение спектра суммарного действия 4-х светодиодов и ламп для освещения растений ДНаЗ

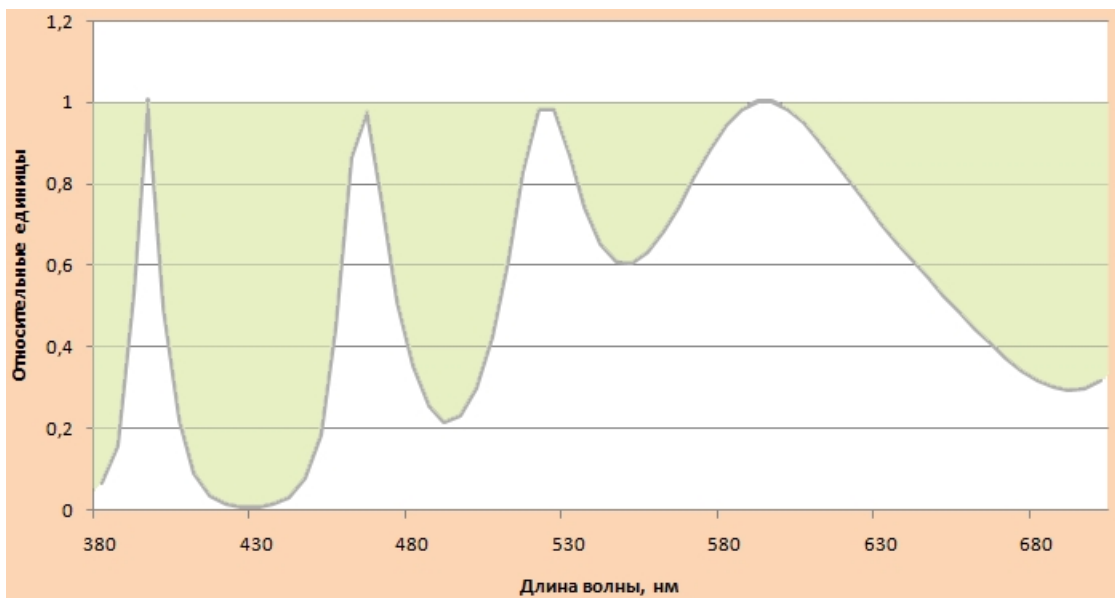


Рисунок 2.12 Доля совпадения спектрального распределения 4-х цветного светильника с функцией, основанной на спектре действия фотосинтеза

Доля совпадения спектрального распределения энергии в потоке излучения 4-х цветного светильника с функцией, основанной на спектре действия фотосинтеза следующая:

$$f_{4Ц} = \frac{\int_{380}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl}{\int_{380}^{700} g(l) \cdot dl} = \frac{125.02}{216.687} = 0,577 \quad (2.23)$$

Определение соотношения мощностей светодиодов в 4-х цветной модели:

– для оранжевого светодиода:

$$PC_{\text{оранж}} = \frac{\int_{380}^{700} j_{\text{оранж}}(l) \cdot K_{\text{оранж}} dl}{\int_{380}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl} \times 100\% = 70,4\% \quad (2.24)$$

– для синего светодиода:

$$PC_{\text{синий}} = \frac{\int_{380}^{700} j_{\text{синий}}(l) \cdot K_{\text{син}} dl}{\int_{380}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl} \times 100\% = 10,3\% \quad (2.25)$$

– для зеленого светодиода:

$$PC_{\text{зеленый}} = \frac{\int_{380}^{700} j_{\text{зеленый}}(l) \cdot K_{\text{зел}} dl}{\int_{380}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl} \times 100\% = 16,1\% \quad (2.26)$$

– для УФ светодиода:

$$PC_{\text{УФ}} = \frac{\int_{380}^{700} j_{\text{УФ}}(l) \cdot K_{\text{УФ}} dl}{\int_{380}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl} \times 100\% = 3,2\% \quad (2.27)$$

Соотношение по диапазонам

– для диапазона 380-500нм:

$$\frac{\int_{380}^{500} j_{4Ц}(l) \cdot dl}{\int_{380}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl} \times 100\% = 13,7\% \quad (2.28)$$

– для диапазона 500-600нм:

$$\frac{\int_{500}^{600} j_{4Ц}(l) \cdot dl}{\int_{380}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl} \times 100\% = 42,7\% \quad (2.29)$$

– для диапазона 600-700нм:

$$\frac{\int_{600}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl}{\int_{380}^{700} j_{4Ц}(l) \cdot dl} \times 100\% = 43,6\% \quad (2.30)$$

Добавим спектр ИК светодиода. Для ИК светодиода получена следующая функция спектральной плотности излучения (погрешность аппроксимации 0,026):

$$j_{ИК}(I) = \frac{121 \sin(-0,0119x)^3 \cdot \sin(-0,216x) \cdot \sin(-0,0266x)}{431000 + x^2 - 1310x - 18,2 \cos(1310x)} \quad (2.31)$$

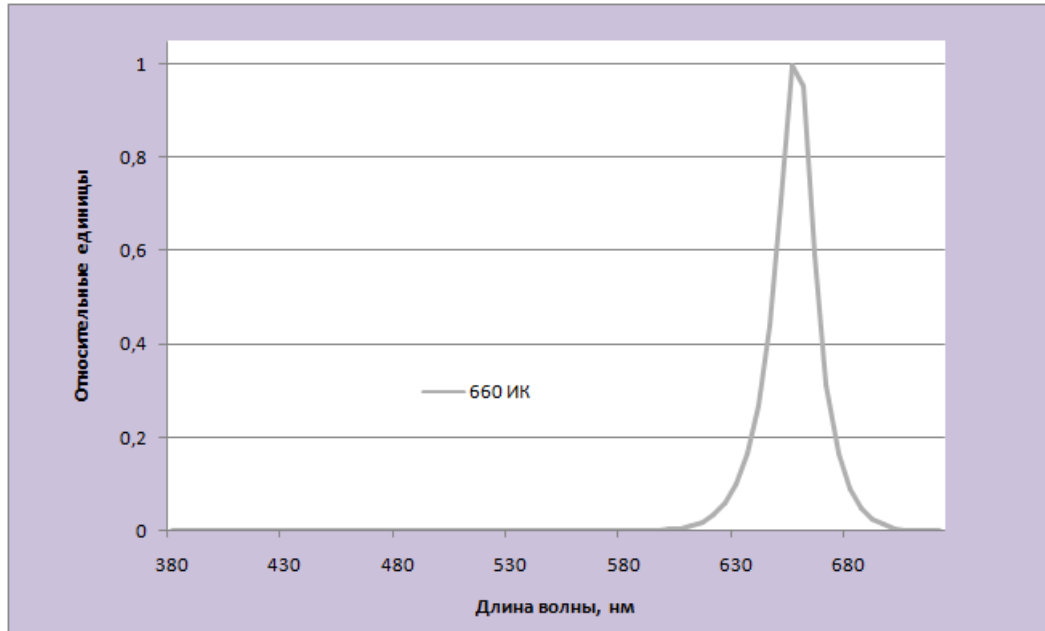


Рисунок 2.13 Спектральная плотность излучения ИК светодиода

Модель для 5-и цветов: оранжевый, синий, зеленый, УФ и ИК - получается следующая:

$$\Phi_{5Ц}(I) = K_{оранж} \cdot j_{оранж}(I) + K_{син} \cdot j_{синий}(I) + K_{зел} \cdot j_{зеленый}(I) + K_{УФ} \cdot j_{УФ}(I) + K_{ИК} \cdot j_{ИК}(I) \quad (2.32)$$

$$K_{оранж} = g(I_{оранж.р}) = 0,86 \quad (2.33)$$

где $\lambda_{оранж.р}$ - рабочая длина волны оранжевого светодиода

$$K_{син} = g(I_{син.р}) = 0,51 \quad (2.34)$$

где $\lambda_{син.р}$ - рабочая длина волны синего светодиода

$$K_{зел} = g(I_{зел.р}) - K_{оранж} \cdot j_{оранж}(I_{зел.р}) = 0,51 \quad (2.35)$$

где $\lambda_{зел.р}$ - рабочая длина волны зеленого светодиода

$$K_{УФ} = g(I_{УФ.р}) = 0,31 \quad (2.36)$$

где $\lambda_{УФ.р}$ - рабочая длина волны УФ светодиода

$$K_{ИК} = g(I_{ИК.р}) - K_{оранж} \cdot j_{оранж}(I_{ИК.р}) = 0,53 \quad (2.37)$$

где $\lambda_{ИК.р}$ - рабочая длина волны ИК светодиода

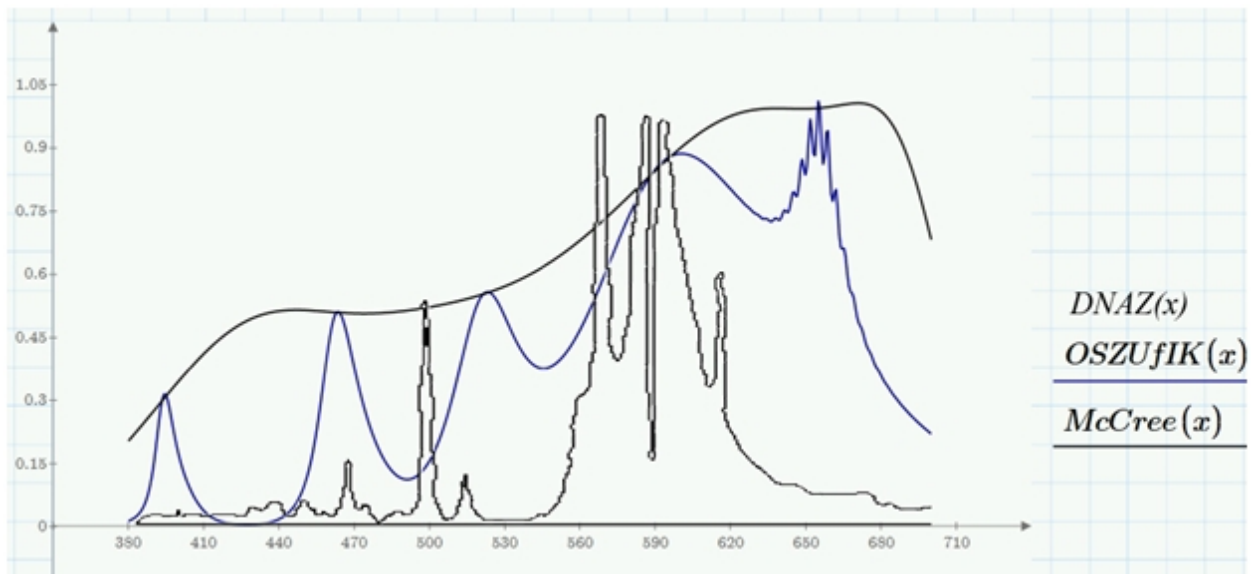


Рисунок 2.14 Сравнение спектра суммарного действия 5-и светодиодов и ламп для освещения растений ДНаЗ

Доля совпадения спектрального распределения энергии в потоке излучения 5-и цветного светильника с функцией основанной на спектре действия фотосинтеза следующая:

$$f_{5Ц} = \frac{\int_{380}^{700} j_{5Ц}(l) \cdot dl}{\int_{380}^{700} g(l) \cdot dl} = \frac{138,245}{216,687} = 0.638 \quad (2.38)$$

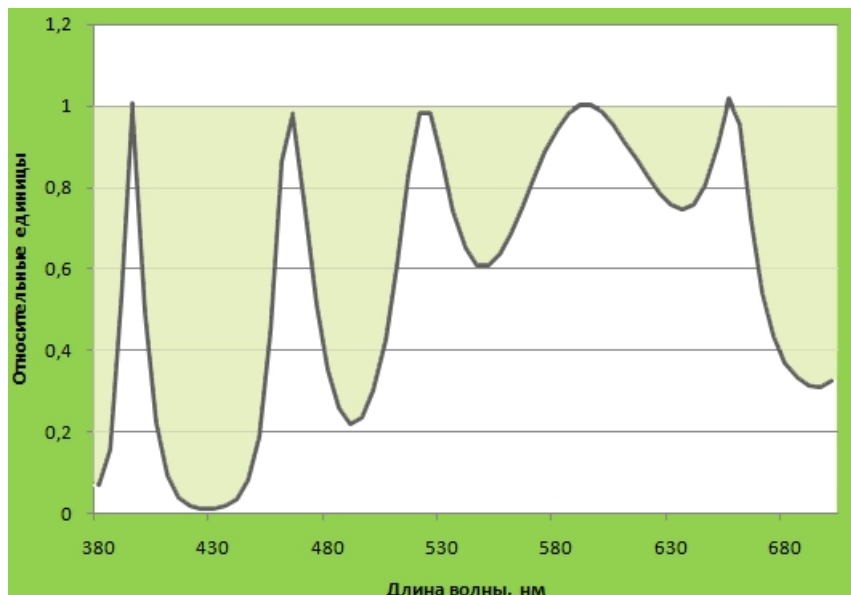


Рисунок 2.15 Доля совпадения спектрального распределения 5-и цветного светильника с функцией, основанной на спектре действия фотосинтеза

Из расчетов (табл. 2.1) видно, что тепличная натриевая лампа имеет долю совпадения спектрального распределения в 2,4 раза меньше по сравнению с 4-цветной широкополосной системой. Это позволяет рассчитывать на улучшение продуктивности и качества урожая при применении нового варианта облучателя.

Таблица 2.1

Облучатель	Кол-во светодиодов в облучателе	суммарное значение спектрального распределения энергии источника света в спектральном диапазоне ФАР, у.е.	суммарное значение спектрального распределения функции основанной на спектре действия фотосинтеза, у.е.	доля совпадения спектрального распределения источника света с функцией основанной на спектре действия фотосинтеза
Красный+Синий СД	2	34,258	216,687	0,158
Красный+Синий+ Зеленый+ УФ СД	4	59,956		0,277
Оранжевый+Синий +Зеленый+ УФ СД	4	125,02		0,577
Оранжевый+Синий +Зеленый+ УФ+ИК СД	5	138,245		0,638
ДНаЗ		48,403		0,240

Добавление в модель ещё одного цвета (ИК 660нм) улучшает долю совпадения на 6,1%, но усложняет систему питания. Поэтому для создания широкополосной системы освещения на основе цветных светодиодов выбираем четырехцветную систему, состоящую из следующих светодиодов: УФ 400 нм, Синий 470 нм, Зеленый 525 нм, Оранжевый 600 нм.

Исходя из определенного цветового соотношения светодиодов в светильнике мощность передающих преобразователей составит 1 кВт, 3,2 кВт, 5 кВт и 22 кВт для каждого цвета отдельно.

2.2 Разработка структуры резонансной системы облучения растений.

В настоящее время в теплицах организация электропитания классическим способом регулируемой системы светодиодного освещения потребует: во-первых, большого числа питающих проводов для каждого цвета отдельно; во-вторых, использование значительного количества источников питания; и, конечно, сложность управления такой системой освещения. В главе 1.4 рассмотрены системы электропитания светодиодных облучателей растений. И обосновано применение резонансной системы электропитания облучателей растений.

Как известно, явление крутого увеличения амплитуды вынужденных колебаний, которое возникает при совпадении частоты внешнего воздействия с некоторыми значениями, определяемым свойствами системы, называется резонансом.

Условие резонанса в электронных устройствах, из справочной литературы, - это равенство величин реактивных сопротивлений катушки индуктивности и ёмкости на определённой частоте, что позволяет энергии перемещаться между магнитным полем индуктивного элемента и электрическим полем конденсатора.

Электрическое устройство, состоящее из индуктивности и ёмкости, называется колебательным контуром. Известно, что ёмкость и индуктивность могут быть включены параллельно (параллельный контур) или последовательно (последовательный контур) [57]

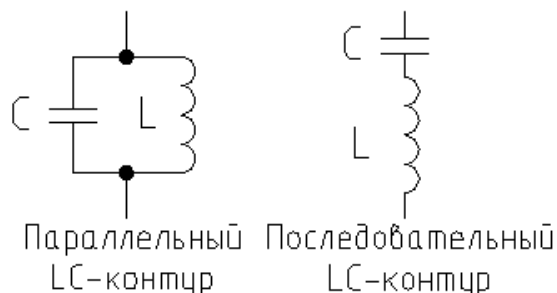


Рисунок 2.16 LC-контур

Реактивные сопротивления индуктивности и ёмкости зависят от частоты переменного тока. При увеличении частоты реактивное сопротивление индуктивности растет, а ёмкости – идет на спад. При уменьшении частоты, наоборот, индуктивное сопротивление падает, а емкостное – растет. Таким образом, для каждого контура есть некоторая частота резонанса, на которой индуктивное и емкостное сопротивления оказываются равными. В момент резонанса резко увеличивается амплитуда переменного напряжения на параллельном контуре или резко увеличивается амплитуда тока на последовательном контуре. На рисунке 2.17 показан известный график зависимости напряжения на параллельном контуре или тока на последовательном контуре от частоты.

На частоте резонанса эти величины имеют максимальное значение. А полоса пропускания контура определяется на уровне 0,7 от максимальной амплитуды, которая есть на частоте резонанса.

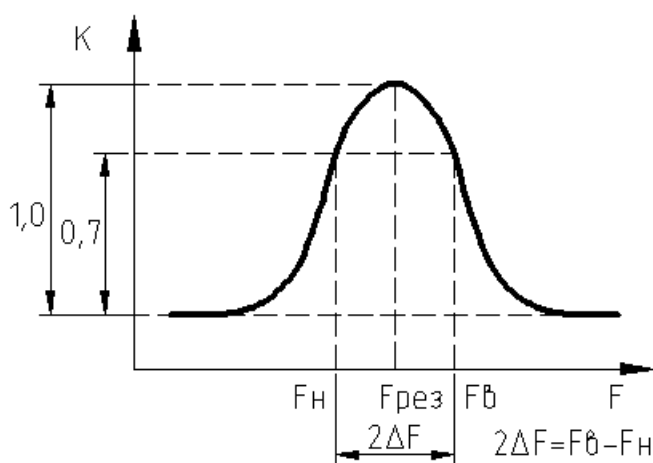


Рисунок 2.17 График зависимости напряжения на параллельном контуре или тока на последовательном контуре от частоты

Сущность резонанса заключается в следующем: магнитное поле индуктивности производит электрический ток, заряжающий конденсатор, а разряжение конденсатора генерирует магнитное поле в индуктивности — процесс, повторяющийся многократно.

Ширина полосы пропускания определяется добротностью системы.

Добротность колебательного контура - параметр, который определяет амплитуду и ширину амплитудно-частотной характеристики резонанса и показывает насколько запасы энергии в контуре больше, чем утечка энергии за один период колебаний. Добротность(Q) учитывает присутствие активного сопротивления нагрузки R [101].

Добротность последовательного контура:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{w \cdot L}{R} \quad (2.39)$$

Добротность параллельного контура:

$$Q = R \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2.40)$$

Добротность выполненных на дискретных катушках индуктивности и конденсаторах реальных колебательных контуров составляет от нескольких единиц до сотни и больше. Добротность разных колебательных систем, сделанных на принципах пьезоэлектрических и других эффектов, может достигать до нескольких тысяч и больше [101].

Величину, обратную добротности принято называть затуханием контура.

Колебательный контур обладает свойством в существенной степени изменять коэффициент передачи на частоте, близкой к резонансной. Это свойство широко применяется на практике, когда нужно выделить сигнал с определенной частотой из обилия ненужных сигналов, размещенных на других частотах [101].

Колебательный контур в резонансном режиме используется в системе передачи электроэнергии, называемой резонансной. Резонансная система электропитания состоит из передающего выпрямителя, предварительного усилителя мощности, задающего генератора (4,0...12,0 кГц), усилителя мощности, колебательного LC-контура, выходной обмотки, линии электропередачи и нагрузки. В качестве нагрузки могут использоваться облучатели. (рис. 2.18)

На основе математической модели, рассмотренной в подразделе 2.1, для создания широкополосной системы освещения на основе цветных

светодиодов необходимо делать облучатели на 4-х разных цветах светодиодов.

Создать систему питания и управления каждого цвета отдельно можно с помощью резонансной системы электропитания, которая существенно экономит капитальные затраты

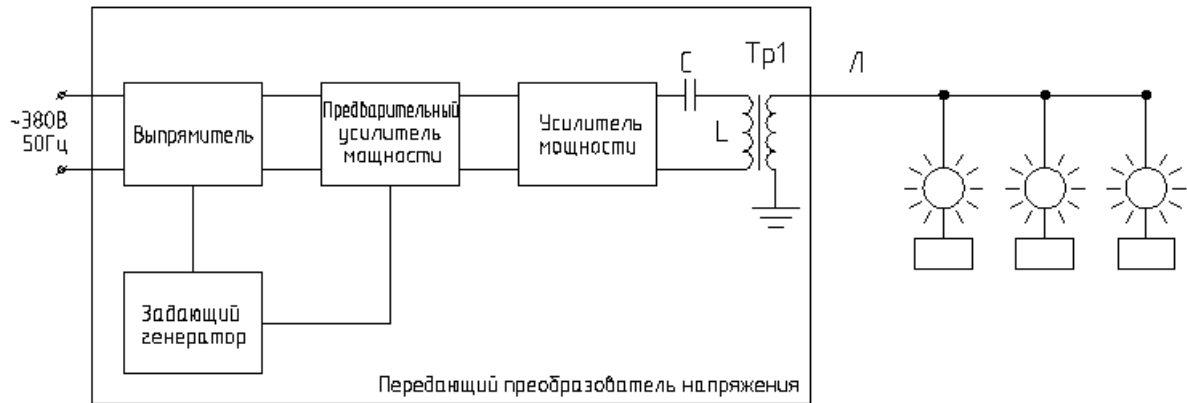


Рисунок 2.18 Структурная схема передающего преобразователя напряжения:

- выпрямитель (источник питания)
- задающий генератор 4,0...12,0 кГц (микросхема задает частоту);
- предварительный усилитель мощности (драйверы управляющие силовыми транзисторами);

– усилитель мощности (силовые скоростные транзисторы);

Tr1 – передающий резонансный трансформатор (LC контур и выходная обмотка);

Л – линия электропередачи.

Для электропитания такой системы с минимальным количеством проводов разрабатывается резонансная система питания. При этом для каждого цвета будет свой отдельный преобразователь.

Резонансная система передачи электроэнергии состоит из преобразователя напряжения (рис. 2.18), линии электропередачи и обратного преобразователя, в состав которого входит выпрямитель или инвертор напряжения ВИ.

Резонансная система питания светодиодов работает следующим образом: напряжение сети, подводимое к преобразователю частоты, преобразуется в напряжение высокой частоты, и подается на резонансный трансформатор, состоящий из LC-контура и выходной обмотки, с которого подается в линию, к ней подключены приемные трансформаторы с выпрямителями, от которых питаются светодиоды.

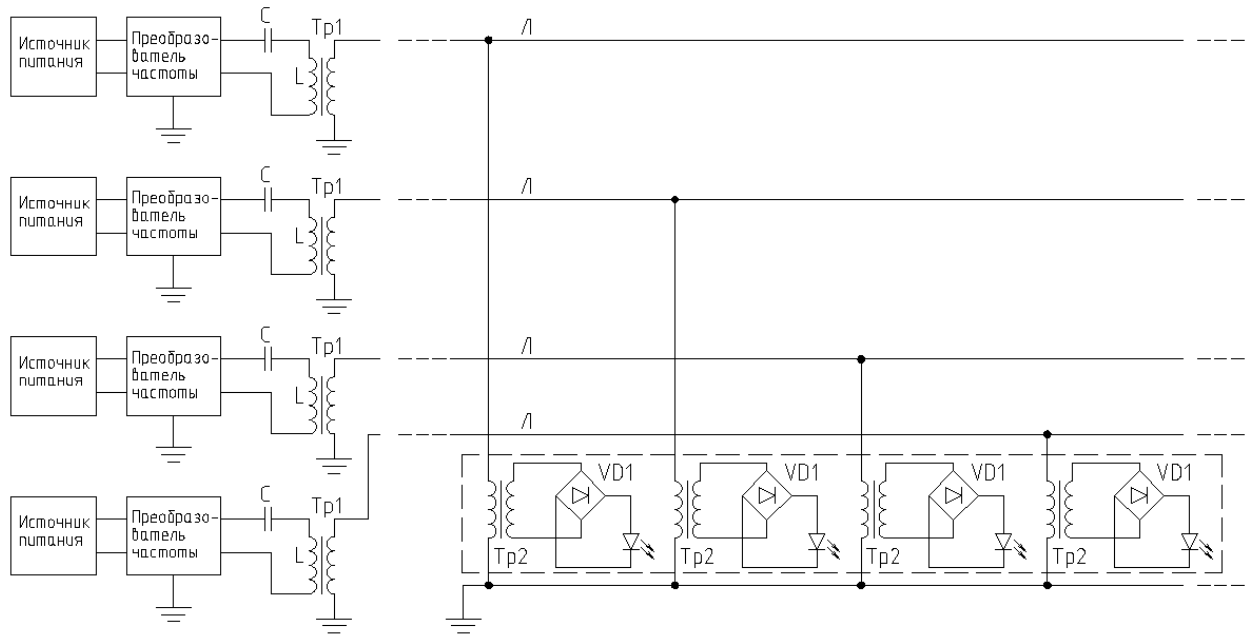


Рисунок 2.19 Структурная схема 4-канальной резонансной системы электропитания

Основными элементами резонансной системы освещения являются резонансный передающий трансформатор и приемный понижающий трансформатор. Расчеты передающего и приемного трансформаторов приведены в следующих подразделах.

2.3. Методика расчета передающего блока для резонансной системы электропитания освещения в защищенном грунте.

В предыдущем разделе была рассмотрена структурная схема 4-канального преобразователя. Каждый канал в отдельном виде представлен следующей схемой:

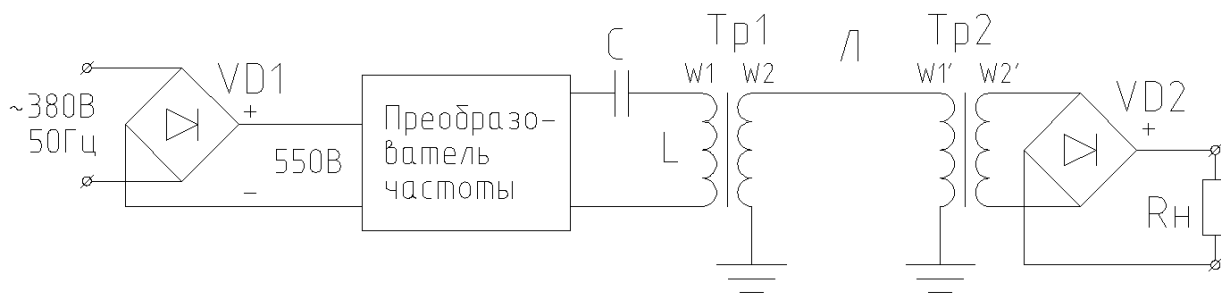


Рисунок 2.20 Схема одного канала резонансного электропитания.

где, $R_{н}$ - нагрузка в виде источника света (светодиоды)

LC – резонансный контур, VD1, VD2 –выпрямитель, Л- линия передачи

Основными элементами резонансной системы питания и освещения является резонансный передающий трансформатор и приемный понижающий трансформатор.

Рассмотрим разработанную нами методику расчёта параметров основных элементов резонансной системы питания.

Расчет характеристик контура для преобразователя:

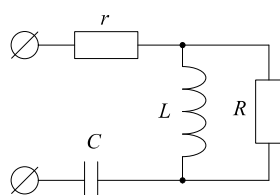


Рисунок 2.21 LC-контур

r – внутреннее сопротивление контура, R – сопротивление нагрузки контура, L – индуктивность контура, C – емкость контура.

Резонансная частота рассчитывается по формуле Томпсона:

$$f_P = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.41)$$

Расчет выходной мощности контура с известными характеристиками.

Сопротивление нагрузки резонансного контура:

$$R = \frac{U_{\text{ВЫХ}}^2}{P_{\text{ВЫХ}}}, \quad (2.42)$$

где $U_{\text{ВЫХ}}$ – напряжение на резонансном контуре, $P_{\text{ВЫХ}}$ – активная мощность

резонансного контура

Основным реактивным элементом, задающим выходную мощность резонансного контура, является емкость

Емкость:

$$C = \frac{P_P}{U_{\text{ВЫХ}}^2 W} = \frac{P_{\text{ВЫХ}} Q \cdot 1,3}{U_{\text{ВЫХ}}^2 W} = \frac{P_{\text{ВЫХ}} U_{\text{ВЫХ}} 1,3}{U_{\text{ВЫХ}}^2 U_{\text{ВХ}} W} = \frac{P_{\text{ВЫХ}} 1,3}{U_{\text{ВЫХ}} U_{\text{ВХ}} W} \quad (2.43)$$

Индуктивность:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \rightarrow L = \frac{1}{\omega^2 C} \quad (2.44)$$

Реактивный ток:

$$I_{\text{КОНТ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{X_C} = U_{\text{ВЫХ}} \omega C \quad (2.45)$$

Если нагрузка подключена к резонансному трансформатору, то

$$R = R_H n_{Tr} \quad (2.46)$$

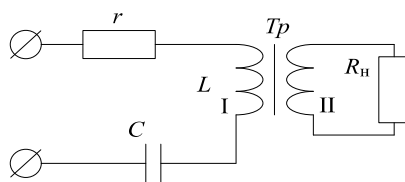


Рисунок 2.22

r – внутреннее сопротивление контура, R_H – сопротивление нагрузки контура,

L – индуктивность контура, C – емкость контура.

где R_H – сопротивление нагрузки, n_{Tr} – коэффициент трансформации

$$n_{Tr} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{900}{2000} = 0,45 \quad (2.47)$$

где N_1 – число витков обмотки 1, N_2 – число витков обмотки 2

В расчетах не следует выбирать слишком большое выходное напряжение контура, так как при одинаковой выходной мощности, реактивная мощность в контуре будет в несколько раз больше, это увеличит ток в контуре и ключах, а так же потребует проектирования обмоток, рассчитанных на больший ток и большее напряжение.

Так, например в контуре мощностью 5 кВт при напряжении 1500 В

реактивная мощность будет равна 35 кВА, а при напряжении 3000 В – 140 кВА.

Расчет резонансного трансформатора с сердечником

Для расчета необходимы параметры сердечников (рис.2.23).

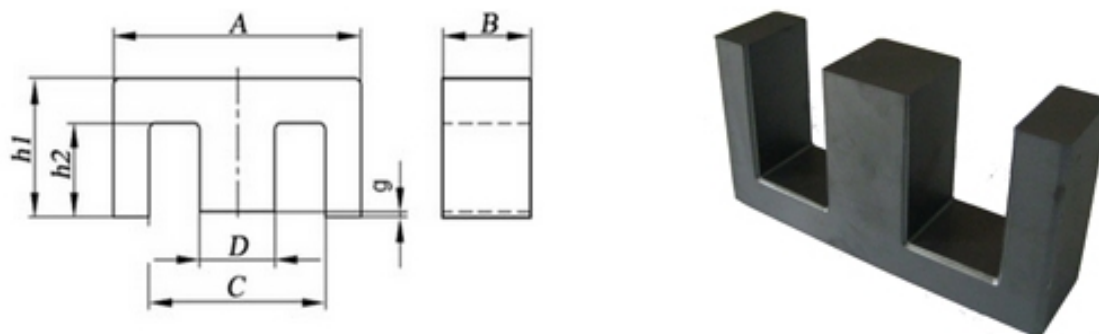


Рисунок 2.23 Сердечники конфигурации "ЕЕ"

Таблица 2.2 Геометрические параметры сердечников конфигурации "ЕЕ"[99]

Типоразмер	A [мм]	B [мм]	C [мм]	D [мм]	h1 [мм]	h2 [мм]
EE85A	85,0 ^{±1,5}	26,5 ^{±0,5}	55,0	26,8 ^{±0,5}	44,0 ^{±0,5}	29 ^{±0,3}
EE85B	85,0 ^{±1,5}	31,5 ^{±0,5}	55,0	26,8 ^{±0,5}	44,0 ^{±0,5}	29 ^{±0,3}
EE 100	100,0 ^{±1,5}	28,0 ^{±0,5}	72,0	28,0 ^{±0,5}	46,0 ^{±0,5}	60,0 ^{±0,5}
EE 110	110,0 ^{±2,5}	36,0 ^{±0,5}	76,0	36,0 ^{±0,4}	39,0 ^{±0,5}	57,0 ^{±0,5}
EE 110/18,5	110,0 ^{±2,5}	18,5 ^{±0,5}	76,0	36,0 ^{±0,4}	39,0 ^{±0,5}	57,0 ^{±0,5}
EE 118	118,0 ^{±1,5}	35,0 ^{±0,4}	82,0	35,0 ^{±0,4}	69,0 ^{±0,5}	86,5 ^{±0,5}
EE 120	120,0 ^{±1,5}	30,0 ^{±0,5}	88,0	29,0 ^{±0,5}	30,0 ^{±0,5}	45,0 ^{±0,5}
EE 128	128,0 ^{±2,0}	40,0 ^{±0,5}	88,0	40,0 ^{±0,5}	44,0 ^{±0,5}	64,0 ^{±0,5}
EE 130	130,0 ^{±2,0}	40,0 ^{±0,5}	90,0	40,0 ^{±0,5}	44,0 ^{±0,5}	64,0 ^{±0,5}
EE 136	136,0 ^{-2,0^{+3,0}}	60,0 ^{±0,5}		40,0 ^{±0,5}	29,0 ^{±0,5}	9,0 ^{±0,5}
EE 140	140,0 ^{±2,0}	40,0 ^{±0,5}	100,0	40,0 ^{±0,5}	48,0 ^{±0,5}	68,0 ^{±0,5}
EE 150	150,0 ^{±2,0}	40,0 ^{±0,5}	110,0	39,0 ^{±0,5}	90,0 ^{±1,0}	110,0 ^{±1,0}
EE 160A	160,0 ^{±2,5}	40,0 ^{±0,5}	116,0	40,0 ^{±0,5}	60,0 ^{±0,75}	80,0 ^{±0,75}
EE 160B	160,0 ^{±2,5}	40,0 ^{±0,5}	116,0	40,0 ^{±0,5}	65,0 ^{±0,75}	85,0 ^{±0,75}
EE 160C	162,0 ^{±3,0}	40,0 ^{±0,5}	101,0	58,0 ^{±1,5}	95,0 ^{±0,5}	125,0 ^{±0,5}
EE 188/27	138,0 ^{±2,5}	27,0 ^{±0,5}	126,0	54,0 ^{±1,3}	49,0 ^{±1,0}	77,0 ^{±1,0}
EE188/54	138,0 ^{±2,5}	54,0 ^{±0,5}	126,0	54,0 ^{±1,3}	49,0 ^{±1,0}	77,0 ^{±1,0}
EE 193/30	133,0 ^{±4,0}	30,0 ^{±0,5}	132,0	59,0 ^{±2,0}	49,0 ^{±1,0}	79,0 ^{±1,0}

Типоразмер	A [мм]	B [мм]	C [мм]	D [мм]	h1 [мм]	h2 [мм]
EE 193/60	193,0 ^{±4,0}	60,0 ^{±0,5}	132,0	59,0 ^{±2,0}	49,0 ^{±1,0}	79,0 ^{±1,0}
EE 200	200,0 ^{±4,0}	40,0 ^{±0,5}	158,0	40,0 ^{±0,7}	60,0 ^{±1,0}	80,0 ^{±1,0}
EE 210	210,0 ^{±4,0}	40,0 ^{±0,5}	150,0	60,0 ^{±1,0}	65,0 ^{±0,5}	95,0 ^{±0,5}
EE 230	230,0 ^{±4,0}	28,0 ^{±0,5}	172,0	60,0 ^{-1,5}	63,0 ^{±1,0}	94,0 ^{±1,0}
EE240	240,0 ^{±4,0}	40,0 ^{±0,5}	176,0	60,0 ^{-2,0}	86,0 ^{±4,0}	116,0 ^{±4,0}
EE 250	250,0 ^{±4,0}	40,0 ^{±0,5}	186,0	60,0 ^{-2,0}	83,0 ^{±0,5}	113,0 ^{±0,5}
EE 260	260,0 ^{±4,0}	40,0 ^{±0,5}	200,0	59,0 ^{-2,0}	63,0 ^{±0,5}	91,0 ^{±0,5}
EE 284	284,0 ^{±0,5}	80,0 ^{±0,5}	200,0	80,0 ^{±0,5}	80,0 ^{±0,5}	120,0 ^{±0,5}
EE 320	320,0 ⁺⁶	40,0 ^{±0,5}	236,0	80,0 ^{±2,0}	120,0 ^{±0,5}	160,0 ^{±0,5}
EE 400	400,0 ^{±5,0}	40,0 ^{±1,0}	300,0	100,0 ^{±2,0}	150,0 ^{±2,0}	200,0 ^{±2,0}
EE 480A	480,0 ^{+7,0}	60,0 ^{±1,0}	360,0	120,0 ^{±5,0}	180,0 ^{±1,0}	240,0 ^{±1,0}
EE 480B	480,0 ^{+7,0}	40,0 ^{±0,5}	400,0	80,0 ^{±2,0}	120,0 ^{±0,5}	160,0 ^{±0,5}

Расчет габаритной мощности сердечника для преобразователя определенной мощности. Выбираем сердечник с параметрами выбранными в таблице 2.2

$$P = 0,44 \frac{S_c S_o f \cdot B_{\max}}{150} \quad (2.48)$$

где S_c – площадь сечения ($D \times B$), см², S_o – площадь сечения окна ($h2 \times (C-D)$), см², B_{\max} – магнитная индукция, Тл, 0,44- коэффициент запаса с учетом работы трансформатора в резонансном режиме

Первичная обмотка должна быть рассчитана на максимальный реактивный ток I (формула 2.38), протекающий через неё. Зная максимальный реактивный ток I и плотность тока в обмотке J (в А/мм²), а так же площадь окна сердечника S_o (в см²) и коэффициент его заполнения K_o , можно определить количество витков в окне сердечника:

$$W = \frac{100 \cdot S_o \cdot K_o \cdot J}{I_k} \quad (2.49)$$

Плотность тока в обмотках зависит от мощности трансформатора:

$$J = 1,5 + \frac{24}{\sqrt{P_{\text{трансф}}}} \quad (2.50)$$

Так, как в резонансных трансформаторах протекают значительные

токи, чтобы не вводить сердечники в насыщение необходимо в них вводить дополнительный зазор.

Расчет зазора силовой обмотки с сердечником:

$$d = \frac{m_0 I_{\max} W}{B_{\max}} \quad (2.51)$$

Из этих формул видно, что увеличение зазора позволяет увеличить ток в обмотке при той же максимальной магнитной индукции, но при этом увеличивается число витков.

Проверяем индуктивность обмотки с зазором

$$L = 1,25 \cdot 10^{-7} S_c K_c W^2 / \delta \quad (2.52)$$

Если индуктивность получилась больше заданной,- увеличиваем зазор

Число витков выходной обмотки рассчитывается следующим образом:

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tp} + 5\% \quad (2.53)$$

где W_1 – число витков обмотки 1, n_{Tp} – коэффициент трансформации

Таким образом для передающего трансформатора рассчитываются с учетом мощности необходимые сердечники и определяются зазоры. Методика позволяет получить значения числа витков первичной и выходной обмоток и проверить правильность расчетов.

2.4. Методика расчета приемного оборудования для светодиодных облучателей.

Приемный блок каждого канала представлен следующей схемой:

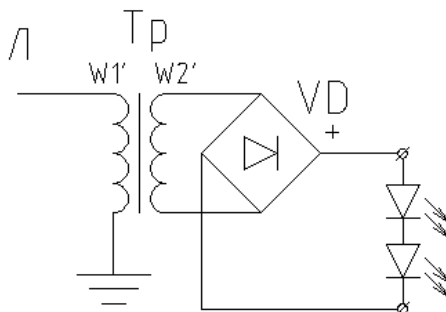


Рисунок 2.24 Схема приемного оборудования для светодиодных облучателей где, Тр – приемный трансформатор; VD – выпрямитель; $W1'$ – число витков в первичной обмотке; $W2'$ – число витков во вторичной обмотке.

Таблица 2.3 Сердечники конфигурации "Ш"

Типоразмер	L, мм	H, мм	B, мм	I ₀ , мм	I ₁ , мм	h, мм
Ш3*3	12±0,50	6,0±0,20	3,0-0,30	3,0-0,15	2,5+0,15	4,0±0,20
Ш4x4	16±0,50	8,0±0,25	4,0-0,50	4,0-0,40	3,2+0,50	5,2+0,40
Ш4x8	16±0,0,50	8,0±0,25	8,0-0,5	4,0-0,4	3,2+0,5	5,2+0,4
Ш5x5	20±0,60	10,0±0,25	5,0-0,50	5,0-0,40	4,0+0,50	6,2+0,50
Ш6x6	24±0,0,60	12,0±0,35	6,0-0,50	6,0-0,40	5,0+0,50	8,0+0,50
Ш7x7	30±0,0,80	15,0±0,35	7,0-0,70	7,0-0,50	6,0+0,50	9,5+0,50
Ш8x8	32±1,10	16,0±0,35	8,0-0,70	8,0-0,50	7,0+0,70	11,5+0,7
Ш10x10	36±1,10	18,0±0,45	10,0-0,70	10,0-0,50	8,0+0,70	13,0+0,7
Ш12x15	42±1,30	21,0±0,45	15,0-1,0	12,0-0,70	9,0+0,70	15,0+0,7
Ш12X20	42±1,30	21,0±0,45	20,0-1,2	12,0-0,70	9,0+0,70	15,0+0,7
Ш16X20	54,0±1,50	27,0±0,55	20,0-1,2	16,0-0,70	11,0+1,0	19,0+0,9
Ш20X28	65,0±1,50	32,5±0,70	28,0-1,6	28,0-0,90	12,0+1,0	22,0+0,9

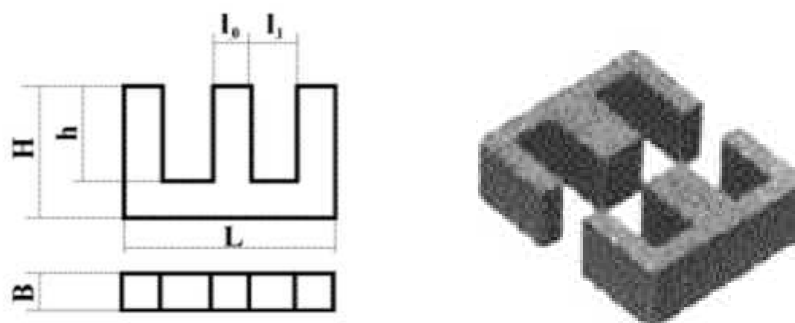


Рисунок 2.25 Геометрические размеры сердечников конфигурации "Ш".

Для расчета трансформатора ограничим максимальную индукцию:

$$B_{\text{макс}} = (0,5...0,75)B_{\text{нас}}, \quad (2.54)$$

где $B_{\text{макс}}$ и $B_{\text{нас}}$ – в Тл, $B_{\text{нас}}$ – индукция насыщения

Расчет габаритной мощности сердечника.

$$P = \frac{S_c S_o f \cdot B_{\text{макс}}}{150} = 2S_c S_o f \cdot B_{\text{макс}} \cdot h \cdot J \cdot k_m \cdot k_\phi \cdot 10^{-2} \quad (2.55)$$

где S_c – площадь сечения, см², S_o – площадь сечения окна, см², $B_{\text{макс}}$ –

магнитная индукция, η – КПД трансформатора, k_m – коэффициент заполнения окна медью ($k_m=0,15\dots0,3$), k_ϕ – коэффициент формы сигнала ($k_\phi=1,0\dots1,15$), J – плотность тока в обмотках ($J=1,8\dots4$),

Расчет числа витков первичной обмотки:

$$W = \frac{U_{\text{ex}} 10000}{4 f B_{\text{макс}} S_c} \quad (2.56)$$

где U_{ex} – входное напряжение, В; f – резонансная частота, кГц; $B_{\text{макс}}$ – максимальная индукция, S_c – площадь сечения сердечника, см².

Ток входной первичной обмотки:

$$I_{\text{ex}} = \frac{P}{U_{\text{ex}}} \quad (2.57)$$

где P – габаритная мощность сердечника, Вт; U_{ex} – входное напряжение на первичной обмотке, В.

Ток выходной вторичной обмотки:

$$I_{\text{вых}} = \frac{P}{U_{\text{вых}}} \quad (2.58)$$

где P – габаритная мощность сердечника, Вт; $U_{\text{вых}}$ – выходное напряжение на вторичной обмотке, В.

Сечение провода первичной обмотки:

$$S_{\text{ex}} = \frac{I_{\text{ex}}}{J} \quad (2.59)$$

где I_{ex} – ток входной первичной обмотки, А; J – плотность тока в обмотках.

Сечение провода вторичной обмотки

$$S_{\text{вых}} = \frac{I_{\text{вых}}}{J} \quad (2.60)$$

где $I_{\text{вых}}$ – ток выходной вторичной обмотки, А; J – плотность тока в обмотках.

Расчет числа витков вторичной обмотки:

$$W_2 = \frac{W_1 U_{\text{обм}}}{U_{\text{ex}}}, \quad (2.61)$$

где W_1 и W_2 – число витков, $U_{\text{обм}}$ – выходное напряжение на вторичной обмотке, В, U_{ex} – входное напряжение на первичной обмотке, В.

Расчет диаметра провода обмотки

$$d_1 = 1.13 \sqrt{\frac{I_{\Sigma \max}}{J \cdot N}} \quad (2.62)$$

где $I_{\Sigma \max}$ – ток обмотки, А, d_1 – диаметр в мм, J – плотность тока

А/мм² ($J=1,87..4$ А/мм²), N – число параллельных проводов в обмотке. Если применяется одножильный провод, то $N=1$.

Приемный трансформатор рассчитывается для определенной мощности с запасом по мощности, выбирается определенный сердечник. Методика позволяет получить значения числа витков первичной и выходной обмоток.

Выводы по главе:

Проведя аналитический анализ, нами разработана методика моделирования спектральных характеристик светодиодных светильников, позволяющая определить спектральный состав светильника и обеспечить наилучшее соответствие спектру действия фотосинтеза, установленного МакКри в 1972 году. На основе методики рассчитана спектральный состав светильника с разноцветными светодиодами с длинами волн 400 нм, 470 нм, 525 нм и 600 нм (с соотношением мощностей 3,2%:10,3%:16,1%:70,4%).

Разработана методика расчета резонансной системы питания, в которую входит расчет параметров резонансного трансформатора, выходной мощности, приемных трансформаторов и обмоточных данных трансформаторов.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ С РЕЗОНАНСНЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ

3.1 Разработка широкополосного светильника для защищенного грунта

Как известно, растения производят сами органические вещества посредством фотосинтеза, а не получают их извне. Для роста, цветения и плодоношения им нужен свет. Под действием энергии света из воды и углекислого газа растения образуют органические соединения, которые взаимодействуют с поступающими из почвы неорганическими веществами и служат для строительства новых клеток.

В искусственных условиях растения выращиваются в теплицах. В многопролетных теплицах (рис. 3.1) светильники подвешиваются. На основе разработанной математической модели во второй главе нами разработаны широкополосные светодиодные разноцветные матричные светильники.

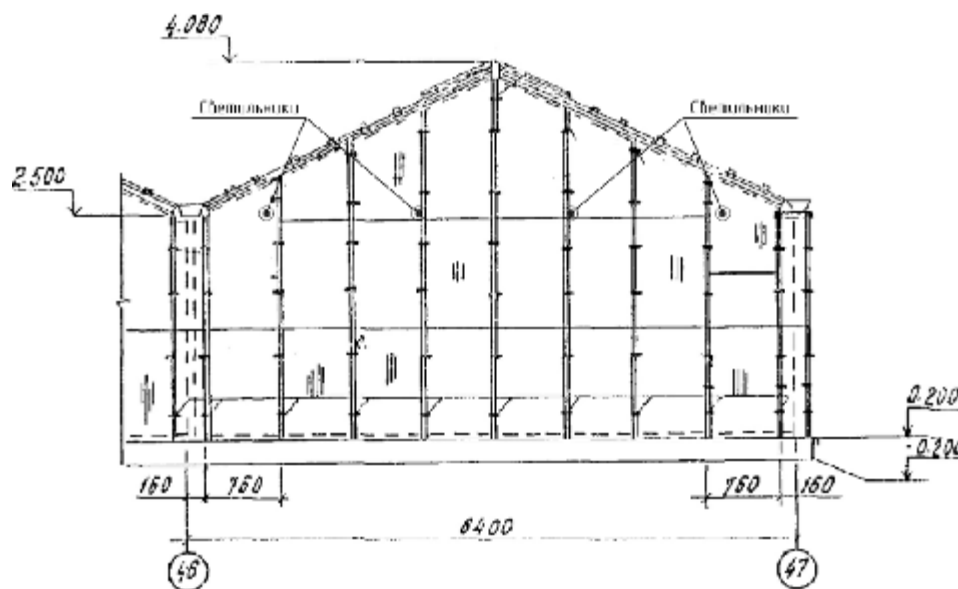


Рисунок 3.1 Фрагмент стандартной теплицы [26]

Светильники подвесные со светодиодными источниками света. Корпус из АБС сополимера, съемная металлическая панель, на которой расположены светодиоды. Рассеиватель - ударопрочный поликарбонат.

Потребляемая мощность светильника для облученности 20 Вт/м^2 ФАР составляет 300Вт

Для наилучшей равномерности освещенности необходимо рассчитать оптический угол облучателя. Расчет произведен на примере фрагмента теплицы 3м на 4м свисотой подвеса светильников 2м. Минимальный радиус освещения рассчитаем по формуле:

$$R = \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{2} = \frac{\sqrt{1,5^2 + 2^2}}{2} = 1,25\text{м}, \quad (3.1)$$

где а- половина ширины фрагмента теплицы;

в- половина длины фрагмента теплицы.

Вычислим угол рассеивания линзы светильника:

$$\tan \frac{a}{2} = \frac{R}{H} = \frac{1,25}{2} = 0,625 \rightarrow \frac{a}{2} = 32^\circ \quad a = 64^\circ \quad (3.2)$$

Для равномерного освещения площади 12 кв. м необходимо разместить 4 источника света таким образом чтобы радиус освещения от каждого светильника был 1,25м. Для этого при высоте подвеса 2м расстояние между светильниками должно быть 1,5м, а между рядами облучателей 2м.

Итак, используя 4 светильника необходимо получить освещенность (Е) 10000лм/м² (20Вт/м² ФАР). Расчет освещенности проведем на основе методики коэффициента использования[19]:

$$E = N \frac{F}{S} K_3 \quad (3.3)$$

где N-количество светильников; F- светотдача; S-площадь; K₃-коэффициент запаса.

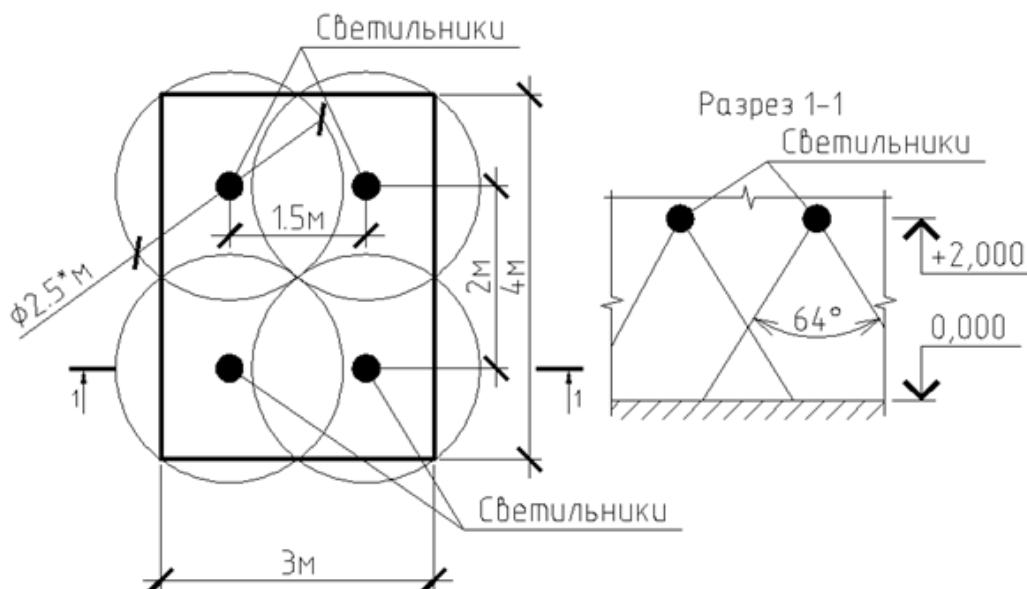


Рисунок 3.2 Размещение светильников в фрагменте теплицы

Найдем необходимый световой поток:

$$F = \frac{E \times S}{N \times K_3} = \frac{10000 \times 12}{4 \times 1,5} = 20000 \text{ лм} \quad (3.4)$$

Таким образом, для обеспечения необходимой освещенности фрагмента теплицы площадью 12 м² нам необходимо иметь 4 светильника с линзами рассеивания в 64°, в составе которых 4 светодиодных матрицы (оранжевый, синий, зеленый и УФ) общей мощностью 300Вт, что подтверждается лабораторными испытаниями. Расчеты для теплиц большего размера аналогичные.

3.2. Разработка резонансной системы электропитания облучателей.

На основе рассчитанных спектральных характеристик 4-х цветного светодиодного светильника для отсека теплицы 6,4м на 75м необходимо иметь 100 четырехцветных светильников мощностью 300Вт, где общая потребляемая мощность составит 30кВт. Исходя из определенного ранее цветового соотношения светодиодов в светильнике, мощность передающих преобразователей составит 1 кВт, 3,2 кВт и 5 кВт и 22 кВт

Каждый канал имеет следующие характеристики:

- первичное питание - ~380 В 50 Гц.
- максимальная передаваемая мощность $P = 1\text{кВт}; 3,2\text{кВт}; 5\text{кВт}$ и 22кВт .
- средняя частота передачи $f = 8 \text{ кГц}$.

- напряжение в линии передачи – 900 В.
- напряжение в контуре – 2000В
- величина постоянного напряжения после выпрямления
первичного питания – 550 В.
- напряжение входное в контур – $550/2=275В$

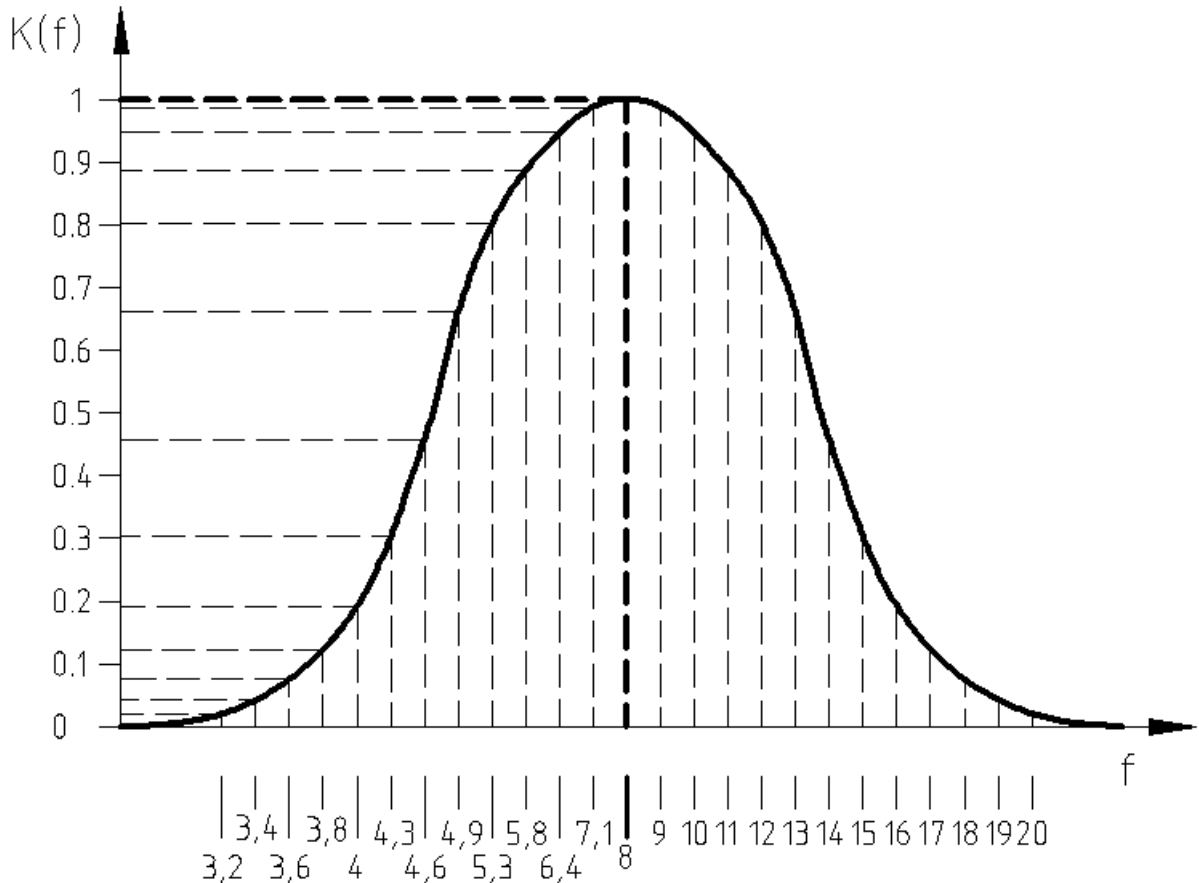


Рисунок 3.3 Зависимость коэффициента передачи мощности от частоты

Зависимость коэффициента передачи мощности от частоты:

$$K(f) = 1.2 \cdot \sin(0.15 \cdot f) \cdot \sin\left(\frac{9.3}{f}\right) \cdot \sin\left(\frac{24.7 \cdot f^2 \sin(0.15 \cdot f) \sin\left(\frac{9.3}{f}\right) \sin(6 + 0.14f)}{44.5 + f^3}\right) \quad (3.5)$$

где f - частота в задающем генераторе, кГц

Зависимость мощности определенного канала светильника от частоты:

$$P_{св}(f) = P_{св_макс} \cdot K(f), \quad (3.6)$$

где $P_{св_макс}$ - максимальная мощность канала, Вт

$K(f)$ - коэффициент передачи мощности

Основными элементами резонансной системы питания и освещения является резонансный передающий трансформатор и приемный понижающий трансформатор.

Расчет характеристик контура для преобразователя мощностью 1кВт:

Емкость:

$$C = \frac{P_{\text{ВЫХ}} 1,3}{U_{\text{ВЫХ}} U_{\text{ВХ}} \omega} = \frac{1000 \cdot 1,3}{2000 \cdot 275 \cdot 6,28 \cdot 8000} = 0,05 \text{ мкф} \quad (3.7)$$

Индуктивность:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6,28 \cdot 8000)^2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6}} = 8,42 \text{ мГн} \quad (3.8)$$

Реактивный ток:

$$I_{\text{КОНТ}} = U_{\text{ВЫХ}} \omega C = 2000 \cdot 6,28 \cdot 8000 \cdot 0,05 \cdot 10^{-6} = 4,73 \text{ А} \quad (3.9)$$

Расчет характеристик контура для преобразователя мощностью 3,2кВт:

Емкость:

$$C = \frac{P_{\text{ВЫХ}} 1,3}{U_{\text{ВЫХ}} U_{\text{ВХ}} \omega} = \frac{3200 \cdot 1,3}{2000 \cdot 275 \cdot 6,28 \cdot 8000} = 0,15 \text{ мкф} \quad (3.10)$$

Индуктивность:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6,28 \cdot 8000)^2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6}} = 2,632 \text{ мГн} \quad (3.11)$$

Реактивный ток:

$$I_{\text{КОНТ}} = U_{\text{ВЫХ}} \omega C = 2000 \cdot 6,28 \cdot 8000 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} = 15,1 \text{ А} \quad (3.12)$$

Расчет характеристик контура для преобразователя мощностью 5кВт:

Емкость:

$$C = \frac{P_{\text{ВЫХ}} 1,3}{U_{\text{ВЫХ}} U_{\text{ВХ}} \omega} = \frac{5000 \cdot 1,3}{2000 \cdot 275 \cdot 6,28 \cdot 8000} = 0,24 \text{ мкф} \quad (3.13)$$

Индуктивность:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6,28 \cdot 8000)^2 0,24 \cdot 10^{-6}} = 1,684 \text{ мГн} \quad (3.14)$$

Реактивный ток:

$$I_{\text{конт}} = U_{\text{вых}} \omega C = 2000 \cdot 6,28 \cdot 8000 \cdot 0,24 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 23,6 \text{ A} \quad (3.15)$$

Расчет характеристик контура для преобразователя мощностью 22кВт:

Емкость:

$$C = \frac{P_{\text{вых}} 1,3}{U_{\text{вых}} U_{\text{вх}} W} = \frac{22000 \cdot 1,3}{2000 \cdot 275 \cdot 6,28 \cdot 8000} = 1,04 \text{ мкФ} \quad (3.16)$$

Индуктивность:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{(6,28 \cdot 8000)^2 1,04 \cdot 10^{-6}} = 0,383 \text{ мГн} \quad (3.17)$$

Реактивный ток:

$$I_{\text{конт}} = U_{\text{вых}} \omega C = 2000 \cdot 6,28 \cdot 8000 \cdot 1,04 \cdot 10^{-6} \text{ C} = 104 \text{ A} \quad (3.18)$$

Рассчитанные параметры передающих резонансных трансформаторов следующие:

Таблица 3.1 Параметры передающих LC-контуров

Наименование параметра	Ёмкость, С, мкФ	Индуктивность, L, мГн	Реактивный ток в контуре, I _{конт} , А	Напряжение в контуре, U, В	Резонансная частота, f, кГц
для 1 кВт	0,05	8,42	4,73	2000	8
для 3,2 кВт	0,15	2,632	15,1		
для 5 кВт	0,24	1,684	23,6		
для 22 кВт	1,04	0,383	104		

Расчет габаритной мощности сердечника для преобразователя мощности 22кВт для питания канала с длиной волны 600нм. Выбираем сердечник со следующими параметрами S=24, S₀=134,56 (EE240)

$$P = 0,44 \frac{S_c S_o f \cdot B_{\max}}{150} = 0,44 \frac{24 \cdot 134,56 \cdot 8000 \cdot 0,3}{150} = 22735 \text{ Вт} \quad (3.19)$$

где S_c – площадь сечения ($D \times B$), см^2 , S_o – площадь сечения окна ($h_2 \times (C-D)$), см^2 , B_{\max} – магнитная индукция, Тл, 0,44- коэффициент запаса с учетом работы трансформатора в резонансном режиме

Количество витков в окне сердечника для сердечника EE240:

$$W = \frac{100 \cdot S_o \cdot K_o \cdot J}{I_k} = \frac{100 \cdot 134,56 \cdot 0,255 \cdot 1,66}{104} = 54,8 \quad (3.20)$$

Плотность тока в обмотках зависит от мощности трансформатора:

$$J = 1,5 + \frac{24}{\sqrt{P_{\text{трансф}}}} \quad (3.21)$$

Таблица 3.2 Рассчитанная плотность тока

Наименование параметра	Плотность тока в обмотках
для 1 кВт	2,26
для 3,2 кВт	1,92
для 5 кВт	1,84
для 22 кВт	1,66

Расчет зазора силовой обмотки с сердечником:

$$d = \frac{m_0 I_{\max} W}{B_{\max}} = \frac{0,00125 \cdot 104 \cdot 54,8}{0,3} = 23,8 \text{ мм} \quad (3.22)$$

Проверяем индуктивность обмотки с зазором

$$L = 1,25 \cdot 10^{-7} S_c K_c W^2 / \delta = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 24 \cdot 1 \cdot 54,8^2}{23,8} = 0,380 \text{ мГн} \quad (3.23)$$

Расчетная индуктивность обмотки совпала с необходимой индуктивностью контура с точностью 99,2%

Число витков выходной обмотки

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tr} + 5\% = 54,8 \cdot 0,45 + 5\% = 25,9 \quad (3.24)$$

где W_1 – число витков обмотки 1, n_{Tr} – коэффициент трансформации

Расчет габаритной мощности сердечника для преобразователя мощностью 5кВт для питания канала с длиной волны 525 нм. Выбираем

сердечник со следующими параметрами $S=16$, $S_o=60,8$ (EE160A)

$$P = 0,44 \frac{S_c S_o f \cdot B_{\max}}{150} = 0,44 \frac{16 \cdot 60,8 \cdot 8000 \cdot 0,3}{150} = 6848 \text{ Вт} \quad (3.25)$$

Количество витков в окне сердечника для сердечника EE160A:

$$W = \frac{100 \cdot S_o \cdot K_o \cdot J}{I_k} = \frac{100 \cdot 60,8 \cdot 0,18 \cdot 1,81}{23,6} = 85,2 \quad (3.26)$$

Расчет зазора сердечника

$$d = \frac{m_0 I_{\max} W}{B_{\max}} = \frac{0,00125 \cdot 23,6 \cdot 85,2}{0,3} = 8,4 \text{ мм} \quad (3.27)$$

Проверяем индуктивность обмотки с зазором

$$L = 1,25 \cdot 10^{-7} S_c K_c W^2 / \delta = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 16 \cdot 1 \cdot 85,2^2}{8,4} = 1,730 \text{ мГн} \quad (3.28)$$

Расчетная индуктивность обмотки совпала с необходимой индуктивностью контура с точностью 97,4%.

Число витков выходной обмотки

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tp} + 5\% = 85,2 \cdot 0,45 + 5\% = 40,2 \quad (3.29)$$

Расчет габаритной мощности сердечника для преобразователя мощности 3,2кВт для питания канала с длиной волны 470 нм. Выбираем сердечник со следующими параметрами $S=16$, $S_o=30,72$ (EE128)

$$P = 0,44 \frac{S_c S_o f \cdot B_{\max}}{150} = 0,44 \frac{16 \cdot 30,72 \cdot 8000 \cdot 0,3}{150} = 3460 \text{ Вт} \quad (3.30)$$

Количество витков в окне сердечника для сердечника EE128:

$$W = \frac{100 \cdot S_o \cdot K_o \cdot J}{I_k} = \frac{100 \cdot 30,72 \cdot 0,21 \cdot 1,92}{15,1} = 82,1 \quad (3.31)$$

Расчет зазора сердечника

$$d = \frac{m_0 I_{\max} W}{B_{\max}} = \frac{0,00125 \cdot 15,1 \cdot 82,1}{0,3} = 5,2 \text{ мм} \quad (3.32)$$

Проверяем индуктивность обмотки с зазором

$$L = 1,25 \cdot 10^{-7} S_c K_c W^2 / \delta = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 16 \cdot 1 \cdot 82,1^2}{5,2} = 2,604 \text{ мГн} \quad (3.33)$$

Расчетная индуктивность обмотки совпала с необходимой индуктивностью контура с точностью 98,9%.

Число витков выходной обмотки

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tp} + 5\% = 82,1 \cdot 0,45 + 5\% = 38,8 \quad (3.34)$$

Расчет габаритной мощности сердечника для преобразователя мощности 1кВт для питания канала с длиной волны 400 нм. Выбираем сердечник со следующими параметрами $S=6,66$, $S_o=22,8$ (EE110/18,5)

$$P = 0,44 \frac{S_c S_o f \cdot B_{\max}}{150} = 0,44 \frac{6,66 \cdot 22,8 \cdot 8000 \cdot 0,3}{150} = 1069 \text{ Вт} \quad (3.35)$$

Количество витков в окне сердечника для сердечника EE110/18,5:

$$W = \frac{100 \cdot S_o \cdot K_o \cdot J}{I_k} = \frac{100 \cdot 22,8 \cdot 0,183 \cdot 2,26}{4,73} = 199,5 \quad (3.36)$$

Расчет зазора сердечника

$$d = \frac{m_0 I_{\max} W}{B_{\max}} = \frac{0,00125 \cdot 4,473 \cdot 228,8}{0,3} = 3,9 \text{ мм} \quad (3.37)$$

Проверяем индуктивность обмотки с зазором

$$L = 1,25 \cdot 10^{-7} S_c K_c W^2 / \delta = \frac{1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 6,66 \cdot 1 \cdot 199,5^2}{3,9} = 8,427 \text{ мГн} \quad (3.38)$$

Расчетная индуктивность обмотки совпала с необходимой индуктивностью контура с точностью 99,9%.

Число витков выходной обмотки

$$W_2 = W_1 \cdot n_{Tp} + 5\% = 199,5 \cdot 0,45 + 5\% = 94,2 \quad (3.39)$$

Таблица 3.3 Расчетные параметры передающих трансформаторов

Канал с длиной волны	Мощность канала P, Вт	Сердечники конфигурации "ЕЕ"	Габаритная мощность сердечника P, Вт	Число витков первичной обмотки W1	Зазор сердечника δ , мм	Число витков вторичной обмотки W2
400 нм	1000	EE110/18,5	1069	199,5	3,9	94,2
470 нм	3200	EE128	3460	82,1	5,2	38,8
525 нм	5000	EE160A	6848	85,2	8,4	40,2
600 нм	22000	EE240	22735	54,8	23,8	25,9

Таким образом, рассчитан для каждого канала передающий трансформатор с запасом по мощности, выбраны сердечники - EE240, EE160A, EE128, EE110/18,5 и определены зазоры. Получены значения числа витков первичной и выходной обмоток. Проверена правильность расчетов.

Для 4-х цветного светильника общей мощностью 300 Вт был разработан обратный преобразователь, включающий 4 отдельных понижающих трансформатора с выпрямителями.

Приемный блок каждого канала в каждом облучателе имеет следующие характеристики:

Таблица 3.4 Характеристики каналов приемного блока

Цвет светодиода	Выходная мощность, $P_{\text{вых}}$, Вт	Ток выходной, $I_{\text{вых}}$, А	Напряжение входное, $U_{\text{вх}}$, В	Напряжение выходное, $U_{\text{вых}}$, В	Резонансная частота, f , кГц
400 нм	10	0,4	900	24	8
470 нм	32	1,3			
525 нм	50	2,1			
600 нм	220	9,2			

Для обратного преобразователя УФ светодиодов мощностью 10 Вт выбираем из таблицы 2.3 главы 2 сердечник конфигурации «Ш» размером 7x7. Расчет габаритной мощности сердечника (Ш7x7, $S_c=0,49$, $S_o=1,14$)

$$P = \frac{S_c S_o f \cdot B_{\text{макс}}}{150} = 2 S_c S_o f \cdot B_{\text{макс}} \cdot h \cdot J \cdot k_m \cdot k_\phi \cdot 10^{-2} \quad (3.40)$$

$$P = 2 \cdot 0,49 \cdot 1,14 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,96 \cdot 3,46 \cdot 0,25 \cdot 1,07 \cdot 10^{-2} = 15,88 \text{ Вт} \quad (3.41)$$

где S_c – площадь сечения, см^2 , S_o – площадь сечения окна, см^2 , $B_{\text{макс}}$ – магнитная индукция, Тл, η – КПД трансформатора, k_m – коэффициент заполнения окна медью ($k_m=0,15 \dots 0,3$), k_ϕ – коэффициент формы сигнала ($k_\phi=1,0 \dots 1,15$), J – плотность тока в обмотках ($J=1,8 \dots 4$),

Расчет числа витков первичной обмотки

$$W = \frac{U_{\text{вх}} 10000}{4 f B_{\text{макс}} S_c} = \frac{900 \cdot 10000}{4 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,49} = 2870 \quad (3.42)$$

Ток входной первичной обмотки:

$$I_{\text{ex}} = \frac{P}{U} = \frac{15,88}{900} = 0,018A \quad (3.43)$$

Ток выходной вторичной обмотки:

$$I_{\text{вых}} = \frac{15,88}{24} = 0,66A \quad (3.44)$$

Сечение провода первичной обмотки

$$S = \frac{I_{\text{ex}}}{J} = \frac{0,018}{3,46} = 0,0051 \text{ кв.мм} \quad (3.45)$$

Сечение провода вторичной обмотки

$$S = \frac{I_{\text{вых}}}{J} = \frac{0,66}{3,46} = 0,19 \text{ кв.мм} \quad (3.46)$$

Расчет числа витков вторичной обмотки:

$$W_2 = \frac{W_1 U_{\text{обм}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{2870 \cdot 24}{900} = 76,5, \quad (3.47)$$

где W_1 и W_2 – число витков, $U_{\text{обм}}$ – напряжение обмотки –В.

Приемный трансформатор рассчитан для канала мощностью 10Вт с запасом по мощности (15,88Вт), выбран сердечник - Ш7х7. Получены значения числа витков первичной и выходной обмоток, сечение проводов.

Для обратного преобразователя синих светодиодов мощностью 32Вт выбираем из таблицы 2.3 главы 2 сердечник конфигурации «Ш» размером 10х10. Расчет габаритной мощности сердечника (Ш10х10, $S_c=1,0$, $S_o=2,08$)

$$P = 2 \cdot 1,0 \cdot 2,08 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,96 \cdot 3,46 \cdot 0,25 \cdot 1,07 \cdot 10^{-2} = 59,13Bm \quad (3.48)$$

Расчет числа витков первичной обмотки

$$W = \frac{U_{\text{ex}} 10000}{4 f B_{\text{макс}} S_c} = \frac{900 \cdot 10000}{4 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 1,0} = 1406 \quad (3.49)$$

Ток входной первичной обмотки:

$$I_{\text{ex}} = \frac{P}{U} = \frac{59,13}{900} = 0,066A \quad (3.50)$$

Ток выходной вторичной обмотки:

$$I_{\text{вых}} = \frac{59,13}{24} = 2,46A \quad (3.51)$$

Сечение провода первичной обмотки

$$S = \frac{I_{\text{ex}}}{J} = \frac{0,066}{3,46} = 0,019 \quad \text{кв.мм} \quad (3.52)$$

Сечение провода вторичной обмотки

$$S = \frac{I_{\text{вых}}}{J} = \frac{2,46}{3,46} = 0,71 \quad \text{кв.мм} \quad (3.53)$$

Расчет числа витков вторичной обмотки:

$$W_2 = \frac{W_1 U_{\text{обм}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{1406 \cdot 24}{900} = 37,5, \quad (3.54)$$

где W_1 и W_2 – число витков, $U_{\text{обм}}$ – напряжение обмотки –В.

Приемный трансформатор рассчитан мощностью 32Вт выбран сердечник - Ш10х10 с мощностью 59,13Вт с запасом. Получены значения числа витков первичной и выходной обмоток, сечение проводов.

Для обратного преобразователя синих светодиодов мощностью 50Вт выбираем из таблицы 2.3 главы 2 сердечник конфигурации «Ш» размером 10х10. Расчет габаритной мощности сердечника (Ш10х10, $S_c=1,0$, $S_o=2,08$)

$$P = 2 \cdot 1,0 \cdot 2,08 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,96 \cdot 3,46 \cdot 0,25 \cdot 1,07 \cdot 10^{-2} = 59,13 \text{Вт} \quad (3.55)$$

Расчет числа витков первичной обмотки

$$W = \frac{U_{\text{ex}} 10000}{4 f B_{\text{макс}} S_c} = \frac{900 \cdot 10000}{4 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 1,0} = 1406 \quad (3.56)$$

Ток входной первичной обмотки:

$$I_{\text{ex}} = \frac{P}{U} = \frac{59,13}{900} = 0,066 \text{А} \quad (3.57)$$

Ток выходной вторичной обмотки:

$$I_{\text{вых}} = \frac{59,13}{24} = 2,46 \text{А} \quad (3.58)$$

Сечение провода первичной обмотки

$$S = \frac{I_{\text{ex}}}{J} = \frac{0,066}{3,46} = 0,019 \quad \text{кв.мм} \quad (3.59)$$

Сечение провода вторичной обмотки

$$S = \frac{I_{\text{вых}}}{J} = \frac{2,46}{3,46} = 0,71 \quad \text{кв.мм} \quad (3.60)$$

Расчет числа витков вторичной обмотки:

$$W_2 = \frac{W_1 U_{обм}}{U_{вх}} = \frac{1406 \cdot 24}{900} = 37,5, \quad (3.61)$$

где W_1 и W_2 – число витков, $U_{обм}$ – напряжение обмотки –В.

Приемный трансформатор рассчитан мощностью 50Вт выбран сердечник - Ш10х10 с мощностью 59,13Вт с запасом. Получены значения числа витков первичной и выходной обмоток, сечение проводов.

Для обратного преобразователя оранжевых светодиодов мощностью 220Вт выбираем из таблицы 2.3 главы 2 сердечник конфигурации «Ш» размером 16х20. Расчет габаритной мощности сердечника (Ш16х20, $S_c=3,2$, $S_o=4,18$)

$$P = 2 \cdot 3,2 \cdot 4,18 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 0,96 \cdot 3,46 \cdot 0,25 \cdot 1,07 \cdot 10^{-2} = 380,27 \text{ Вт} \quad (3.62)$$

Расчет числа витков первичной обмотки

$$W = \frac{U_{вх} 10000}{4 f B_{\text{макс}} S_c} = \frac{900 \cdot 10000}{4 \cdot 8000 \cdot 0,2 \cdot 3,2} = 439,5 \quad (3.63)$$

Ток входной первичной обмотки:

$$I_{вх} = \frac{P}{U} = \frac{79,83}{900} = 0,423 \text{ А} \quad (3.64)$$

Ток выходной вторичной обмотки:

$$I_{вых} = \frac{380,27}{24} = 15,8 \text{ А} \quad (3.65)$$

Сечение провода первичной обмотки

$$S = \frac{I_{вх}}{J} = \frac{0,423}{3,46} = 0,122 \text{ кв.мм} \quad (3.66)$$

Сечение провода вторичной обмотки

$$S = \frac{I_{вых}}{J} = \frac{15,8}{3,46} = 4,58 \text{ кв.мм} \quad (3.67)$$

Расчет числа витков вторичной обмотки:

$$W_2 = \frac{W_1 U_{обм}}{U_{вх}} = \frac{439,5 \cdot 24}{900} = 11,7, \quad (3.68)$$

где W_1 и W_2 – число витков, $U_{обм}$ – напряжение обмотки –В.

Приемный трансформатор рассчитан для канала мощностью 220Вт с

запасом по мощности (380,27Вт), выбран сердечник - Ш16х20. Получены значения числа витков первичной и выходной обмоток, сечение проводов.

Для светильников общей мощностью 300Вт рассчитаны 4 приемных трансформатора для мощностей 10 Вт, 32 Вт, 50 Вт и 220 Вт.

Таблица 3.5 Параметры приемных трансформаторов

Канал для цвета светодиода	Сердечники конфигурации "Ш"	Габаритная мощность сердечника P, Вт	Число витков первичной обмотки W1	Ток первичной обмотки I _{вх} , А	Ток вторичной обмотки I _{вых} , А	Сечение провода первичной обмотки S _{вх} , мм ²	Сечение провода вторичной обмотки S _{вых} , мм ²	Число витков вторичной обмотки W2
400 нм	Ш7х7	15,88	2870	0,018	0,66	0,005	0,19	76,5
470 нм	Ш10х10	59,13	1406	0,066	2,46	0,019	0,71	37,5
525 нм	Ш10х10	59,13	1406	0,066	2,46	0,019	0,71	37,5
600 нм	Ш16х20	380,27	439,5	0,423	15,8	0,122	4,58	11,7

3.3 Методические положения по применению резонансной системы освещения растений в защищенном грунте

Данное методическое положение предназначено для ознакомления персонала, осуществляющего монтаж, эксплуатацию и техническое обслуживание широкополосной системы освещения растений с резонансным электропитанием

3.3.1 Основные технические данные и характеристики:

Широкополосная система освещения растений с резонансным электропитанием предназначена для облучения растений современными экономичными полупроводниковыми источниками света одного пролета многопролетной промышленной теплицы.

Техническая характеристика:

- напряжение питания - $\sim 380\text{В}$, 50Гц;
- максимальная потребляемая мощность - 30кВт;
- ручная или программная регулировка спектра ;
- потребляемая мощность светильников - по 300 Вт
- размер освещаемой поверхности -6,4м на 75м
- облученность – $20\text{Вт}/\text{м}^2$ ФАР
- высота подвеса светильника -2,2м
- коэффициент мощности – 0,95

3.3.2 Информация по безопасности:

К работе с комплектом оборудования допускаются лица, ознакомившиеся с техническим описанием, изучившие инструкцию по его эксплуатации и имеющие допуск к работе с электроустановками. Образец передается на испытания заказчику после инструктажа электротехнического персонала, проводящего испытания. Ответственность за соблюдение правил и мер электробезопасности при работе с комплектом оборудования возлагается на заказчика. Линия освещения имеет напряжение 900В. Преобразователь напряжения имеет опасное напряжение 380В 50Гц.

При работе с комплектом оборудования необходимо соблюдать общие правила техники безопасности при работе с электроустановками.

Присоединения и отсоединения элементов схемы, устранение неисправностей и повреждений производить при отключенном напряжении питания.

3.3.3 Описание образца.

Блок-схема широкополосной регулируемой системы освещения с резонансным электропитанием представлена на рис.3.4

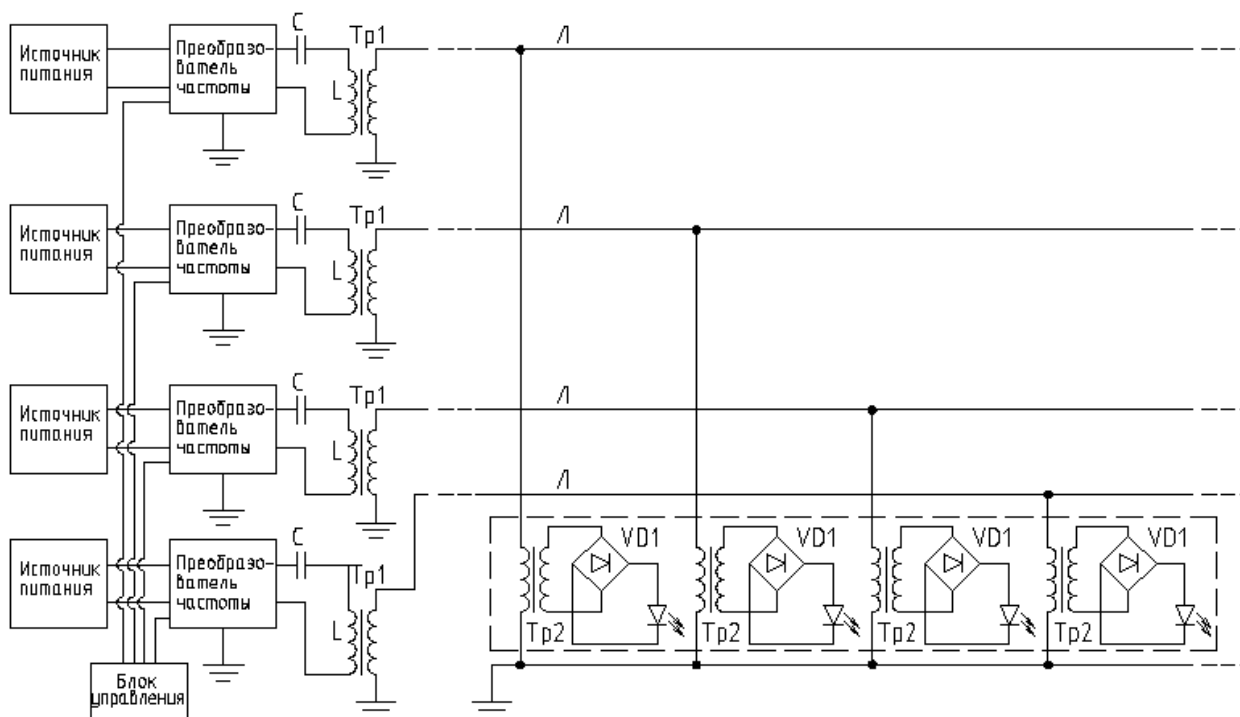


Рисунок 3.4 Схема соединительная рабочей системы освещения

Блок управления включает преобразователи частоты, задает необходимый уровень освещенности в каждом канале, и обеспечивает плавное включение-выключение светильников.

Передающий преобразователь частоты состоит из выпрямителя, задающего генератора 4,0...12,0 кГц, предварительного усилителя мощности, усилителя мощности.

К преобразователю частоты подключен LC-контур, который является частью передающего резонансного трансформатора. К выходной обмотке трансформатора подключена линия электропередачи. Линия электропередачи соединена с входной обмоткой трансформатора обратного преобразователя напряжения. К выходной обмотке трансформатора обратного преобразователя подключен выпрямитель, к выходу которого подключены светодиоды.

Резонансная система питания светодиодов работает следующим образом: напряжение сети, подводимое к преобразователю частоты, преобразуется в напряжение высокой частоты, и подается на резонансный трансформатор, состоящий из LC-контура и выходной обмотки, с которого

напряжение подается в линию, к ней подключены приемные трансформаторы с выпрямителями, от которых питаются светодиоды.

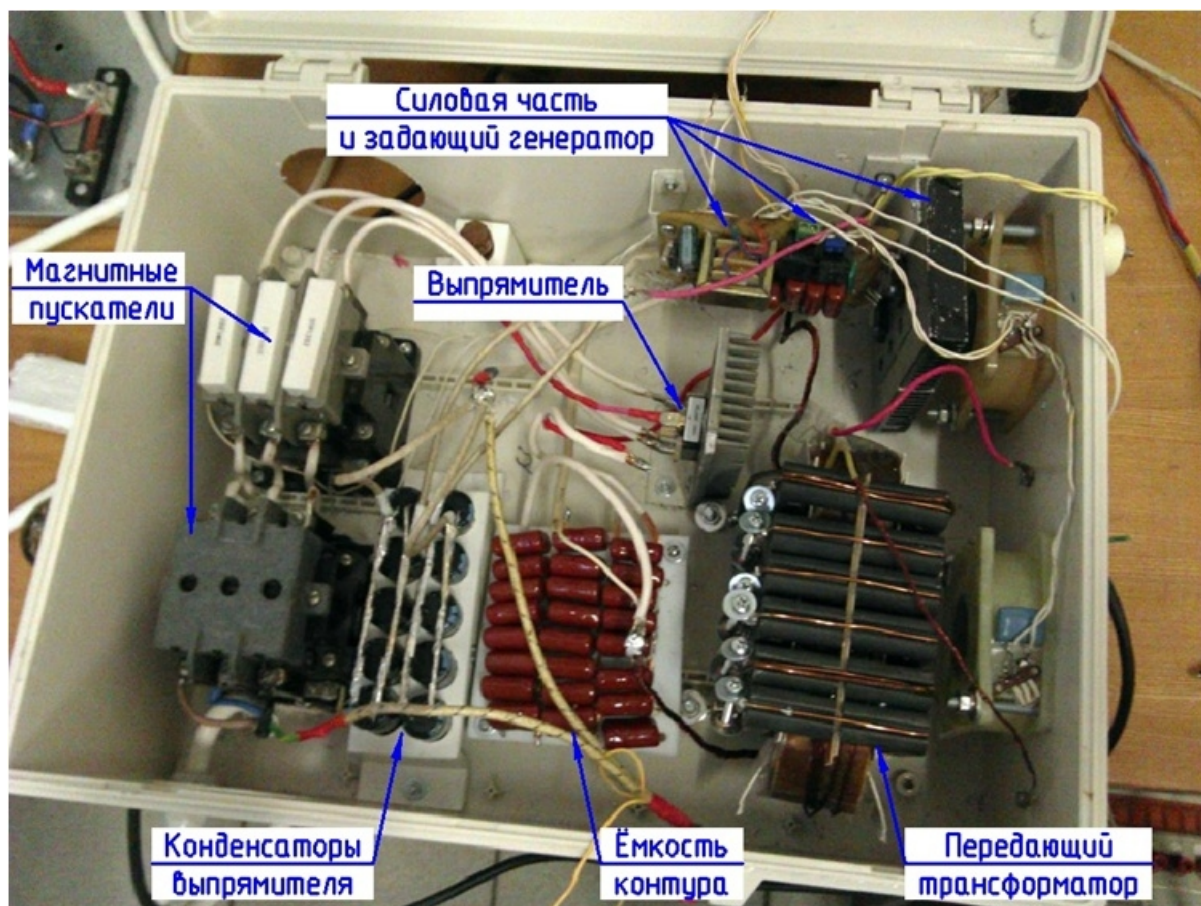


Рисунок 3.5 Внутренний вид передающего блока.

На блоке управления установлены следующие сигнальные индикаторы:

«Сеть» – показывает наличие питания 380 В;

«Освещение включено» – показывает наличие напряжения в линии электропередачи.;

«Работа светильников и соотношение каналов по мощности» – показывает выходную мощность каждого канала и процентное соотношение между каналами на ЖК дисплее.

Переключатель – «Программное управление» – подключает блок управления к контактам реле таймера, которые задают время включения-выключения освещения.

Переключатель – «Ручное управление» - принудительно включает систему освещения.

Питание системы освещения необходимо подводить через автоматический выключатель QF1, с током срабатывания не более 25А.

3.3.4 Прокладка распределительной сети электрооборудования

Групповые линии освещения (900В) выполняются проводом ВВГнг 4x2,5 мм² и проводом ПВ 1x10 мм². Подключение передающего блока к щиту осуществляется проводом ВВГнг 4x16 мм² и ПВ 1x10 мм². Прокладка провода выполняется в кабель-каналах 40x40. Крепление лампового узла осуществляется на тросу.

Монтаж электрооборудования и проводки – в соответствии с нормами и требованиями ПУЭ, СП 31-110-2003. СНИПЗ 05.06-85. В местах, где возможны механические повреждения при пересечении с трубопроводами и вентиляционными коробами, защищаются стальными трубами. Прокладку через стены и перекрытия выполнять в металлических трубах (гильзах). Места прохода заделывать легко удаляемой массой из негорючего материала.

Провода и кабели в кабель-каналах маркировать в начале и в конце кабель-каналов и в местах подключения к оборудованию, а кабели, кроме того,- на поворотах трассы и на ответвлениях. Кабель-каналы должны быть закреплены не реже чем через каждые 0,5 метра по горизонтальной и 0,4 м при вертикальной прокладке и на потолке, а также на поворотах и в местах ответвлений кабель-каналов.

При производстве монтажных работ должна быть обеспечена техника безопасности в соответствии со СНиП III -4-80 и “Правилами техники безопасности при монтажных и наладочных работах”, утвержденными Минэнерго РФ и ММСС РФ.

Вся номенклатура электрооборудования и материалов, предусмотренная в проектной документации, не является окончательной. За фирмой-разработчиком сохраняется право применять аналогичное другое оборудование и материалы при условии, что они соответствуют требованиям проектной документации.

3.3.5 Заземление и электробезопасность

В соответствии с техническими условиями в здании применяется система заземления по ГОСТ 12.1.030-81 и ПУЭ 2002г. Раздел 1.7.

Заземление оборудования выполнять проводом ПВ 1х10.

Заземление источников питания обязательное.

3.3.6 Установленная мощность.

Расчетная установленная мощность широкополосной системы освещения составляет – не более 31,2 кВт,

Общая установленная мощность системы освещения – 31,2 кВт.

3.3.7 Подключение и эксплуатация

Присоединения и отсоединения элементов схемы, производить при отключенном напряжении питания.

Для правильной работы рабочей системы освещения необходимо правильно подключить все блоки (рис.1).

– Подключение к сети электропитания:

Категория надежности электроснабжения – вторая по классификации ПУЭ.

Распределение энергии осуществляется на напряжении 900 В. Система заземления – TN-S по ГОСТ Р 50571.2-94.

– Электроосвещение растений:

Проектом предусматривается освещение растений. Типы и места установки светильников определены настоящим проектом. Управление освещением растений определяется Заказчиком.

Источниками света являются светодиодные светильники мощностью 300 Вт, и световой поток 20000 лм

Размер светильника 580х340х390мм.

Проектный уровень дополнительной облученности составит 20Вт/м² ФАР.

Уровень регулировки освещенности 5-100%.

3.3.7 Чертеж крепления светодиодного светильника

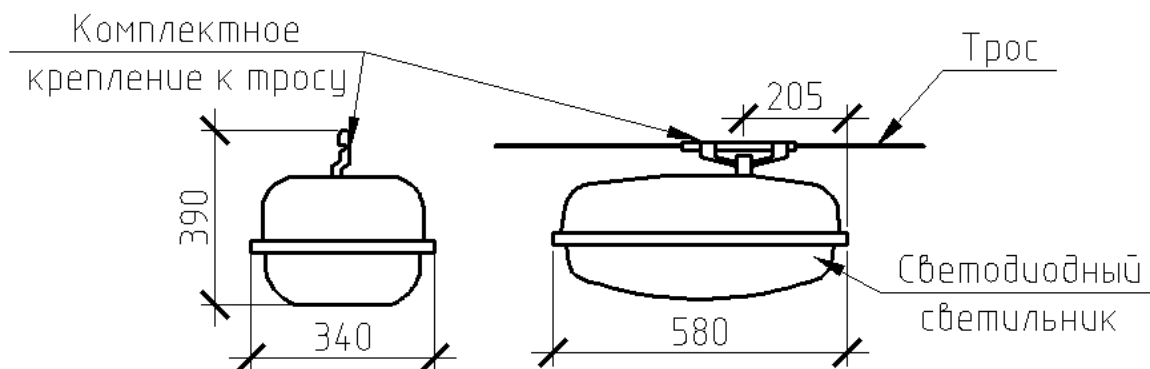


Рисунок 3.6 Чертёж крепления светодиодного светильника

Светильники крепятся к тросу комплектным креплением

Система освещения состоит из трех рядов, расстояние между рядами 2 м, расстояние между светильниками 1,5м.

Таблица 3.6 Схема подключения системы освещения растений

№ п/п	Наименование	Ед. изм	Кол-во	Обозначение	Примечание
<i>Теплица</i>					
	Светильники 300Вт	шт.	100		Направление света – вниз. Высота подвеса 2,2м
	Провод ВВГ 4х2,5	м	100		
	Провод ПВ 1х10	м	100		

Подача напряжения 380 В осуществляется проводом 4 х 16 мм².

Подача напряжения 900 В на светильники осуществляется проводом ВВГ 4х2,5 и ПВ 1х10.

3.3.8. Срок службы и условия хранения комплекта:

– Комплект оборудования должен храниться при температуре от минус 30°С до плюс 60°С. Предельная относительная влажность при хранении – 80 % при температуре плюс 15°С.

– Комплект оборудования транспортируется любым видом крытого транспорта с обеспечением защиты от механических повреждений при температуре от минус 30°С до плюс 60°С. Относительная влажность 98 % при температуре плюс 25°С.

– Гарантийный срок эксплуатации комплекта оборудования – 1 год со дня ввода системы в эксплуатацию, но не более двух лет со дня отгрузки комплекта оборудования с предприятия-изготовителя.

– Допустимый срок сохраняемости комплекта оборудования – 2 года до ввода в эксплуатацию.

Выводы по главе:

На основе математической модели, описанной во второй главе, разработан конструкция светильника, состоящего из 4-х цветных светодиодов с длинами волн 400, 470, 525 и 600 нм с мощностями 10, 32, 50 и 220 Вт соответственно.

Проведен расчет 4-х канальной резонансной системы электропитания. Определены основные характеристики силовой части системы питания мощностью до 31,2 кВт.

Рассчитаны оптические характеристики светильников. При подвесе 2 м, расстояние между светильниками 1,5м, а между рядами облучателей 2м угол рассеивания линзы светильника составляет 64°.

Разработаны методические положения по применению широкополосной системы освещения растений с резонансным электропитанием в многопролетной промышленной теплице размером 6,4м на 75м.

ГЛАВА 4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ С РЕЗОНАНСНЫМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ

4.1 Результаты лабораторных испытаний разработанной системы освещения.

Для оценки работоспособности новой широкополосной системы облучения и эффекта от увеличения светового дня был проведен ряд испытаний со светильниками различной мощности. Для проведения разработано и изготовлено оборудование широкополосной системы освещения растений с резонансной системой питания, позволяющее изменять спектральный состав и мощность излучения для различных растений, в состав которого входили светильники мощностью 50 Вт, 75 Вт и 100 Вт [59,61,62]

Лабораторные испытания проводились для сравнения интенсивности потока излучения тепличного облучателя ЖСП 10-600 "AGRO" на основе натриевой лампы высокого давления ДНаЗ-600 и новой многоканальной широкополосной светодиодной системы освещения растений мощностью 100 Вт, содержащей светодиоды с длинами волн 400 нм, 470 нм, 525 нм и 600 нм, с соотношением мощностей 3,2%:10,3%:16,1%:70,4% соответственно.

Для оценки полезной мощности использовался прибор-индикатор мощности ФАР, разработанный ФГБНУ ВИЭСХ [58]. В результате оценки от натриевых газоразрядных ламп высокого давления мощностью 600Вт облученность ФАР на расстоянии 1,5м составила 18,9 Вт/м² ФАР. А облученность от новой системы мощностью 100Вт составила 8,4 Вт/м² ФАР. Из этого следует, что эффективность новой системы примерно в 2 раза больше, что позволит значительно сократить расход электроэнергии на облучении растений в теплицах, используя светодиодные облучатели мощностью 300Вт.

Таблица 4.1 Сравнительное испытание тепличного светильника с лампой ДНАЗ и нового светодиодного варианта

Источник света	Высота подвеса светильников, м	Потребляемая мощность источника света, Вт	Мощность Вт/м ² ФАР
ДНАЗ-600	1,5	600	18,9
Светодиодный светильник		100	8,4



Рисунок 4.1 Измерение мощности излучения различных источников: слева натриевая лампа высокого давления 600Вт, справа светодиодная матрица 100Вт

Апробированы светильники для освещения рассады широкополосной светодиодной системой освещения с регулируемым спектром в ФИТО-камере. Корпуса светильников изготовлены из ударопрочного пластикового материала и светодиодных источников света с системой охлаждения. Рассеиватели изготовлены из поликарбонатного стекла, пропускающего широкий спектр оптического излучения.



Рисунок 4.2 Экспериментальные испытания в ФИТО-камерах

Технические параметры и характеристики:

- Напряжение питания - 220 В
- Потребляемая мощность светильника - 75 Вт
- Мощность светового потока, ФАР - 22
- Мощность светового потока - 4000лм
- Освещенность рассады на расстоянии 50 см - 5000лк
- Габаритные размеры светильника для растений - 950x200x160мм
- Ширина спектра - 390÷700нм

Испытания заключались в следующем: в ФИТО-камерах, размерами 1,5x0,8 м, с одинаковыми условиями были засеяны огурцы "Московский тепличный", томаты "Пламя" и перец "Аккорд". Первые получали только естественный свет, вторые естественный свет с продолжительностью светового дня до 14 часов с досветкой в темное время суток широкополосным светодиодным светильником (продолжительность светового дня до 20 часов). Широкополосные светодиодные светильники обеспечивали дополнительную облученность 10,5 Вт/м².

Таблица 4.2 Результаты наблюдения роста рассады

	Тип освещения	14 день	21 день	28 день
Томаты	Естественное освещение с досвечиванием	100мм	200мм	350мм
	Естественное освещение	90мм	170мм	280мм
Перец	Естественное освещение с досвечиванием	75мм	120мм	180мм
	Естественное освещение	60мм	100мм	150мм
Огурцы	Естественное освещение с досвечиванием	70мм	130мм	180мм
	Естественное освещение	100мм	170мм	250мм

Стебли огурцов, без досветки, были вытянутыми и тонкими, листовая система начиналась на расстоянии 12-16 см от корня, а растения, получившие дополнительное освещение, имели ствол гораздо короче и плотнее.

В целом период вегетации рассады, находившиеся под облучением, сократился примерно на 8-10 дней. В период эксплуатации отмечена устойчивая работа широкополосной системы освещения.

4.2 Результаты производственных испытаний системы.

Производственные испытания 1.

При испытаниях проводилась апробация облучателей на рассаде укропа, петрушки и салата. Методика заключалась в следующем, в теплице с одинаковыми параметрами были засеяны растения. Первые получали только естественный свет, вторые естественный свет с досветкой в темное время суток широкополосным светодиодным светильником мощностью 50 Вт. Система освещения обеспечивала дополнительную облученность 8,4 Вт/м² (2500лк). Оценку мощности светильника проводили прибором-индикатором мощности фотосинтетически-активной радиации.



Рисунок 4.3 Экспериментальные светодиодные светильники

В течение 33 дней были получены данные отраженные в таблицах. Рост и биомасса салата "Московский парниковый" (ВНИИССОК) и петрушки "Итальянский гигант" (Дом семян) при естественном освещении в теплице были зарегистрированы приблизительно в полтора раза меньше сравнительно с салатом и петрушкой, облученными дополнительно. (рис.). А результаты досветки укропа "Аллигатор" (ГАВРИШ) показывают почти двойное превосходство в размерах досвеченных растений против получивших только естественный свет. (рис.4.4-4.6).

Таблица 4.3 Результаты наблюдения массы растений(октябрь-ноябрь 2013)

	Тип освещения	14 день	21 день	28 день
Укроп	Естественное освещение с досвечиванием	0,15г	0,40г	0,9г
	Естественное освещение	0,10г	0,25г	0,5г
Листья салата	Естественное освещение с досвечиванием	0,3г	1,5г	4,5г
	Естественное освещение	0,2г	0,6г	1,8г
Петрушка	Естественное освещение с досвечиванием	0,04г	0,2г	0,4г
	Естественное освещение	0,02г	0,1г	0,2г

Таблица 4.4 Результаты наблюдения роста растений

	Тип освещения	19 день	26 день	33 день
Укроп	Естественное освещение + досветка	40мм	55мм	80мм
	Естественное освещение	20мм	30мм	55мм
Листья салата	Естественное освещение + досветка	30мм	40мм	65мм
	Естественное освещение	20мм	25мм	50мм
Петрушка	Естественное освещение + досветка	5мм	25мм	35мм
	Естественное освещение	2мм	15мм	22мм

для освещения экспериментального участка расходовалось 50Вт электроэнергии на кв.м, а за весь период испытаний расход электроэнергии составил 8,25кВт*ч на кв.м.

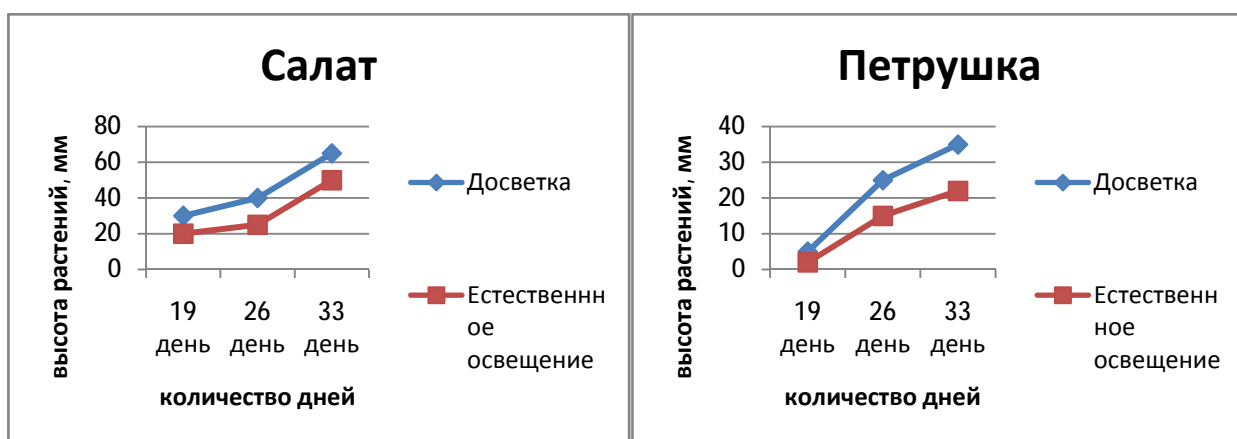


Рисунок 4.4 Рост рассады салата

Рисунок 4.5 Рост рассады петрушки

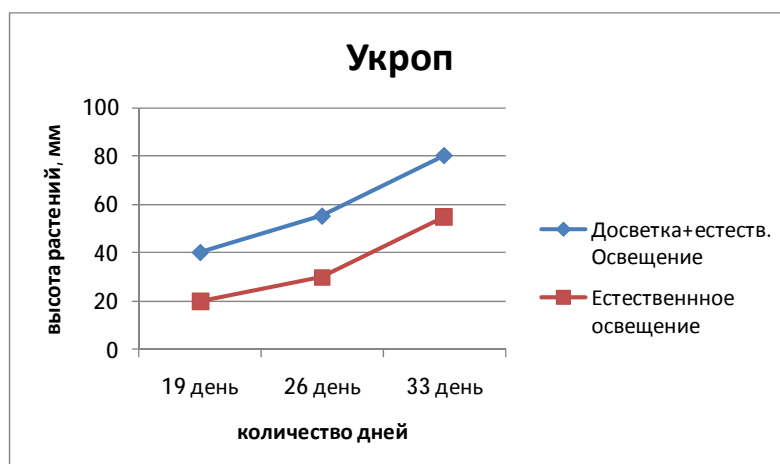


Рисунок 4.6 Рост рассады укропа

Дополнительное облучение рассады в теплице показало дополнительный рост зеленой массы растений, что позволяет сократить период вегетации и повышает урожай на 20-30%. Светодиодный светильник позволил обеспечить равномерное распределение потока энергии и близкое к максимальному КПД ФАР спектра облучения.

Производственные испытания 2. При этих испытаниях были использованы светильники мощностью 75Вт при облучении культуры помидора и перца. Рассада сразу после появления всходов получала облучение с преобладанием красного в спектре ламп. На 10 день от всхода была увеличена доля синего и зеленого в спектре в системе освещения.

Температура воздуха в зоне растений во время облучения рассады находилась в пределах 20-22°C, относительная влажность примерно 80-95%. Ежесуточная продолжительность солнечного и дополнительного облучения составляла 14-16 часов.

Светодиодные широкополосные светильники мощностью 75Вт по мере роста регулировались по высоте. В начальный период на высоте 0,5 метра, в последующие периоды увеличивалась до 1м. В первые два дня после всходов облучение длилось 24 часа.



Рисунок 4.7 Рассада томата

Для того чтобы рассада адаптировалась к естественному режиму облучения после её высаживания проводилось постепенное сокращение длительности ежедневного облучения с 16 часов в начальные периоды до 12 часов на последнем этапе

Таблица 4.5 Результаты наблюдения роста растений(апрель-май 2014)

	Тип освещения	14 день	21 день	28 день
Томат	Естественное освещение + досветка	50мм	200мм	380мм
	Естественное освещение	30мм	140мм	290мм
Перец	Естественное освещение + досветка	30мм	60мм	100мм
	Естественное освещение	20мм	45мм	75мм

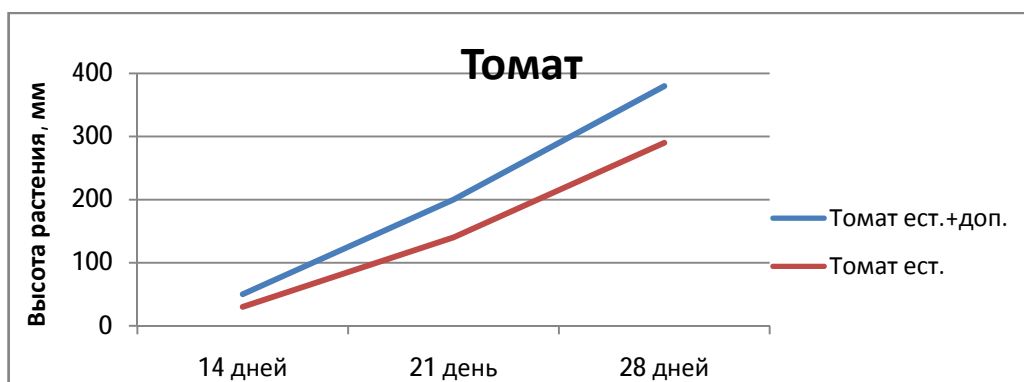


Рисунок 4.8 График роста рассады томата

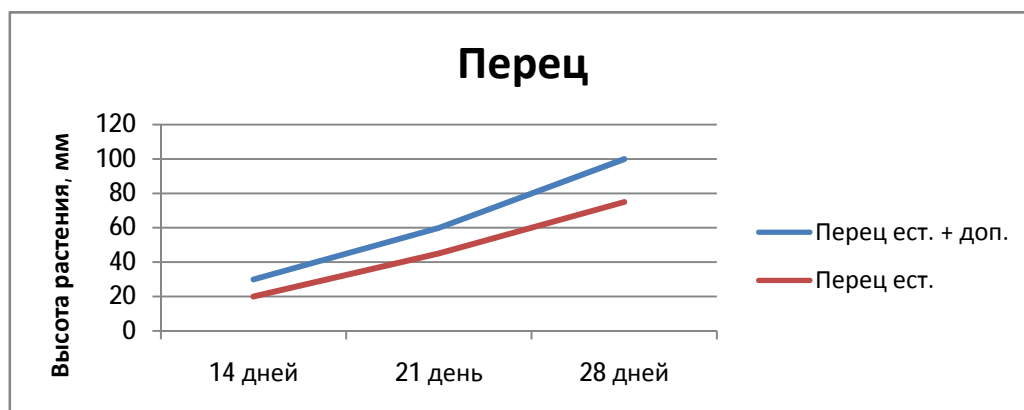


Рисунок 4.9 График роста рассады перца

Светодиодная широкополосная система позволила получить развитые всходы на 5-6 дней раньше.

Для освещения экспериментального участка расходовалось $75\text{Вт}/\text{м}^2$ электроэнергии на кв.м, а за весь период испытаний расход электроэнергии составил $10,5\text{кВт}\cdot\text{ч}$ на кв.м.

Производственное испытание 3 (2014)

В двух участках теплицы выращивались рассада огурца "F1 ЛИБЕЛЛЕ". Световой у растений составлял 17 часов естественного освещения и 5 часов дополнительного облучения светильниками с возможностью изменения спектра мощностью 75Вт. На первом участке использовалось спектральное соотношение: синий 20%, зеленый 40%, красный 40%; во втором: синий 30%, зеленый 20%, красный 50%.

Таблица 4.6 Результаты наблюдения рассады

	Тип освещения	Срок формирования рассады	Среднее количество листьев на растение	Высота растений
Огурцы "F1 ЛИБЕЛЛЕ"	(с-20%, з-40%, к-40%)	30 суток	5,9	250мм
	(с-30%, з-20%, к-50%)	30 суток	5,6	245мм

Облучение под светильниками, содержащими в спектре больше зеленого цвета, позволило получить рассаду с большим количеством листьев за 30 суток. Расход электроэнергии 26,25 кВт*ч/м².

4.3 Расчёт технико-экономических показателей использования широкополосной системы освещения с резонансным электропитанием

Результатом реализации проекта является энергоэффективная широкополосная система освещения растений с резонансным электропитанием с последующим снижением издержек на эксплуатацию системы освещения и затрат на электрическую энергию, потребляемую для целей освещения растений.

Для оценки эффективности модернизации существующей системы освещения необходима следующая исходная информация о существующей системе освещения (табл.4.7)

Из анализа результатов модернизации системы освещения растений формируется заключение об экономии электропотребления

модернизированной системы освещения по сравнению с исходной, о снижении затрат на обслуживание системы освещения.

Таблица 4.7 Сравнение систем освещения

Система Освещения	Объект - один пролет многопролетной теплицы размером 6,4 на 75м			
	Тип светильника	Мощность лампы, Вт	Кол-во светильников	Общая мощность, кВт
Существующая система	ДНаЗ-600	600	100	63
Широкополосная система освещения с резонансным электропитанием	Комбинация светодиодов	300	100	31,2

Планируемые результаты расчета экономической эффективности

- В натуральном выражении:
 - уменьшение энергопотребления системы освещения;
 - высвобождаемая мощность.
- В денежном выражении:
 - уменьшение затрат на оплату электроэнергии;
 - снижение затрат на обслуживание системы освещения.

Расчет инвестиционных показателей модернизации действующей системы освещения растений:

Преимущественно существующая система освещения состоит из светильников на основе ламп ДНаЗ-600. Замена этих светильников на светодиодные приведет к значительному понижению потребляемой электроэнергии, уменьшению расходов на оплату потребляемой на освещение мощности, снизит затраты на обслуживание системы, улучшит спектральные характеристики источника излучения.

Установленная мощность осветительной установки до модернизации рассчитывается с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре светильника, составляющих для светильников с лампой ДНаЗ – 4-6 %.

Соответствие типов осветительных приборов существующей и

модернизированной систем освещения приведено ниже по структурным подразделениям.

Экономический эффект от внедрения модернизированной системы освещения рассчитан следующим способом:

$$\mathcal{E} = \Delta C_{\mathcal{E}} - IC. \quad (\text{тыс. руб.}), \quad (4.1)$$

где: $\Delta C_{\mathcal{E}}$ – экономия денежных средств за счет уменьшения оплаты электроэнергии и эксплуатационных расходов, тыс. руб.; IC – инвестиционные затраты на модернизацию системы освещения, тыс.руб.

Затраты на модернизацию системы освещения (IC) складываются из следующих составляющих:

- стоимость осветительного оборудования;
- затраты на проектные работы;
- затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию осветительного оборудования и системы управления.

Экономия денежных средств может быть рассчитана по формуле:

$$\Delta C_{\mathcal{E}} = C_{o.n.} - C_{\mathcal{E}.m.} \quad (\text{тыс. руб.}), \quad (4.2)$$

где: $C_{o.n.}$ – затраты на обслуживание существующей системы освещения, тыс. руб., $C_{\mathcal{E}.m.}$ – затраты на обслуживание модернизированной системы освещения, тыс. руб.

Затраты на обслуживание существующей системы освещения складываются из следующих составляющих:

$$C_{o.n.} = C_{\mathcal{E}.n.} + C_{r.n.}, \quad (\text{тыс. руб.}), \quad (4.3)$$

где: $C_{\mathcal{E}.n.}$ – затраты на оплату электроэнергии существующей системы освещения, тыс. руб., $C_{r.n.}$ – затраты на эксплуатационное обслуживание существующей системы освещения, тыс. руб.

Затраты на обслуживание существующей системы освещения складываются из расходов на замену ламп, их утилизацию и работы по замене, а также расходов на проведение ремонтов осветительных приборов и т.п.

Затраты на обслуживание модернизированной системы освещения

складываются из следующих составляющих:

$$Сэ.м. = Сэ.м. + Ср.м., \quad (\text{тыс. руб.}), \quad (4.4)$$

где: *Сэ.м.* – затраты на оплату электроэнергии модернизированной системы освещения, тыс. руб.; *Ср.м.* – затраты на обслуживание модернизированной системы освещения, тыс. руб.

Затраты на обслуживание модернизированной системы освещения складываются из расходов на ремонт осветительных приборов.

Оплата за потребленную системой освещения электроэнергию без модернизации:

$$Сэ.п. = \sum_{i=1}^i W_{\Pi_i} * T_{Э_i} \quad (\text{тыс. руб.}), \quad (4.5)$$

где: *W_{п_i}*

 – потребление электроэнергии системой освещения за *i*-й год до модернизации освещения, кВт; *T_{э_i}* – тариф на электроэнергию в *i*-м году до модернизации, руб./кВт*ч. В расчетах необходимо учесть прогнозное ежегодное повышение тарифа (Письмо Минэкономразвития от 05.10.2011, Сценарные условия долгосрочного прогноза социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года, апрель 2012)

Оплата за потребленную системой освещения электроэнергию после модернизации:

$$Сэ.м. = \sum_{i=1}^i W_{M_i} * T_{Э_i} \quad (\text{тыс. руб.}), \quad (4.6)$$

где: *W_{м_i}*

 – потребление электроэнергии системой освещения за *i*-й год после модернизации освещения, кВт; *T_{э_i}* – тариф на электроэнергию в *i*-й год после модернизации, руб./кВт*ч. В расчетах необходимо учесть прогнозное ежегодное повышение тарифа.

Потребление электроэнергии системой освещения за год без модернизации:

$$W_{\Pi} = \sum_{i=1}^i P_{\Pi_i} * T_{Год_i} \quad (\text{кВт*ч}), \quad (4.7)$$

где: *P_{п_i}*

 – установленная мощность системы освещения в *i*-й год до модернизации; *T_{год_i}* – время работы осветительной установки за *i*-й год до

модернизации, час.

Потребление электроэнергии системой освещения за год после модернизации:

$$W_M = \sum_{i=1}^i P_{M_i} * T_{Год_i} \quad (\text{кВт*ч}), \quad (4.8)$$

где: P_{M_i} - установленная мощность системы освещения за i -й год после модернизации; $T_{Год_i}$ – время работы осветительной установки за i -й год после модернизации, ч.

Дополнительная высвобожденная мощность в системе собственных и хозяйственных нужд:

$$\Delta P = P_{П.} - P_{M.} \quad (\text{кВт}) \quad (4.9)$$

Данный проект модернизации системы освещения включает в себя стоимость осветительного оборудования, затраты на материалы для монтажных работ, затраты на электромонтажные работы, а также затраты на материалы и установку системы управления спектром

Технико-экономическое обоснование модернизации системы освещения типового пролета многопролетной теплицы (6,4x75м):

Таблица 4.8 Результаты расчёта эффекта от модернизации системы освещения растений на широкополосную систему освещения растений с резонансным электропитанием:

Показатель		Значение	Ед.изм.	Метод расчета/ обоснование
Тэ	Тариф на электроэнергию, с НДС	4	руб.	По расчетам на основе опросного листа
Рп	Установленная мощность системы освещения до модернизации	63	кВт	
Рм	Установленная мощность системы после модернизации	31,2	кВт	—
Т _{Год.}	Время работы осветительной установки за год	5110	час	Средневзвешенное значение (14часов в сутки)
Wп	Потребление электроэнергии системой освещения за год до модернизации освещения	321930	кВт*ч	—

Показатель		Значение	Ед.изм.	Метод расчета/ обоснование
W _м	Потребление электроэнергии системой освещения за год после модернизации освещения	153300	кВт*ч	—
Затраты на модернизацию системы освещения (ИС) в т.ч.:		1 777 744	руб.	—
- стоимость комплекта светодиодных светильников		1 534 000	руб.	—
- стоимость передающего оборудования		210 000	руб.	—
- затраты на предпроектное обследование и разработку технического задания		1 904,76р.	руб.	—
- затраты на разработку проектно-сметной документации		4 000,00	руб.	—
- затраты на материалы для монтажных работ,		15 640,00	руб.	—
- затраты на строительно-монтажные работы		9 384,00	руб.	—
- затраты на пуско-наладочные работы		2 815,20	руб.	—

С целью учета возможных расходов на техническое обслуживание модернизированной системы освещения, сверх гарантийных обязательств фирмы-производителя, в расчет включены затраты в размере 5% от общей стоимости осветительного оборудования в год по истечении 7-летнего срока эксплуатации осветительного оборудования.

Таблица 4.9 Затраты на обслуживание существующей осветительной системы в год:

тип светильников	число светильников	кол-во ламп	число заменяемых ламп	стоимость лампы с учетом утилизации, руб	стоимость замены лампы, руб	число заменяемых ПРА	стоимость замены ПРА, с учетом ПРА, руб	Общая стоимость работ, руб
ЖСП 30-600-010.U5	100	100	20	2500	50	8	400	54200

Итого затраты на обслуживание существующей системы, 54 200 рублей в год. (Включают в себя утилизацию, закупку ламп, зарплата электромонтерам и т.д.)

Таблица 4.10 Результаты расчета экономии электроэнергии

Показатели новой системы освещения				Потребление	
Экономия, кВт	Экономия, %	Время работы в сутки, час	Время работы в год, час	Старая система, кВт*ч	Новая система, кВт*ч
31,8	50,5	10	3650	240900	109500

Таблица 4.11 Результаты расчета экономии за счет провода

Тип системы освещения растений	Тип провода	Стоимость провода, руб/м	Длина кабеля, м	Общая стоимость провода, руб.
Существующая	ВВГ 5x35	645	100	64 500
Новая	ВВГ 4x2,5	46,18	100	8 032
	ПВ 1x10	34,14	100	
Итого экономия за счет провода, руб				56 468

Таблица 4.12 Общие технико-экономические расчеты

Показатель		Существующая система	Новая система		Экономия
Капиталовложения на модернизацию		–	1 777 744		–
Эксплуатационные затраты		54 200	10 000		44 200
Стоимость потребленной мощности электроэнергии, исходя из цены 4 руб. за кВт*ч		963 600р.	438 000р.		525 600р.
Экономия за счет провода:	Тип провода	ВВГ 5x35	ВВГ 4x2,5	ПВ 1x10	56 468р.
	Длина, м	100	100	100	
	Цена за метр, руб/м	645	46,18	34,14	
	Общая стоимость, р.	64 500р.	4 618р.	3 414р.	
Годовой экономический эффект за 1-ый год					626 268
Годовой экономический эффект за 2-ой год, с учетом инфляции					622 360
Годовой экономический эффект за 3-ий год, с учетом инфляции					680 176
Срок окупаемости 2,8 года					

Технико-экономические расчеты модернизации системы освещения с внедрением высокотехнологичного осветительного оборудования показывают целесообразность внедрения подобных систем. Потребляемая мощность существующей системы освещения – 63 кВт, а после внедрения светодиодной системы освещения – 31,2кВт, что соответствует снижению потребления электроэнергии на 50,5%.

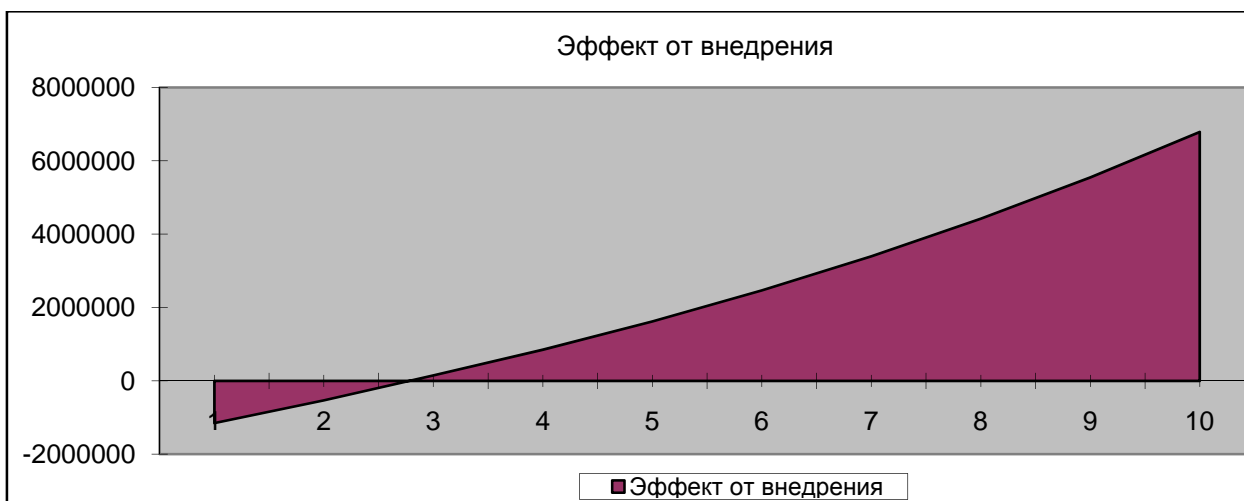


Рисунок 4.10 Эффект от внедрения новой системы освещения с резонансной системой питания

Выводы по главе:

Проведенные сравнительные испытания показали, что светодиодная система в два раза эффективнее, чем натриевая лампа.

Испытания светильников мощностью 50 Вт, 75 Вт и 100 Вт в тепличных условиях на рассаде укропа, петрушки, томата, огурца, перца, салата показали сокращение сроков выгонки рассады до готовности высадки в грунт на 5-10 дней.

Расчетная стоимость нового оборудования составила 1 777 тысяч рублей для блока размером 6,4м на 75м многопролетной промышленной теплицы. Экономический расчет замены действующей системы освещения на основе ламп ДНаЗ на новую показал, что годовой экономический эффект в одном блоке за первый год составляет 626 тысяч рублей, за второй год – 622 тысячи рублей, за третий год – 680 тысяч рублей. Срок окупаемости новой системы составляет 2,8 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Проведенный анализ существующих искусственных источников освещения растений в защищенном грунте позволил обосновать актуальность применения широкополосной системы освещения с резонансным питанием в защищенном грунте.

Разработана математическая модель, позволяющая обосновать спектральные характеристики широкополосного источника излучения, на основе которой рассчитана конструкция светильника, состоящего из 4-х цветных светодиодов с длинами волн 400 нм, 470 нм, 525 нм и 600 нм (с соотношением мощностей 3,2%:10,3%:16,1%:70,4%), с долей совпадения спектрального распределения энергии светильника с функцией, основанной на спектре действия фотосинтеза 57,7%.

Обоснован состав оборудования, включающий в себя широкополосные облучатели и многоканальную систему питания. Разработана методика расчета, позволяющая рассчитать основные характеристики силовой части системы питания мощностью до 31,2 кВт и параметров светильников мощностью до 300Вт.

Разработано оборудование для широкополосной системы освещения растений с резонансной системой питания, позволяющее изменять спектральный состав и мощность излучения для различных растений, в состав которого входили светильники мощностью по 50 Вт, 75 Вт и 100 Вт. Проведенные испытания оборудования позволили получить качественную рассаду на 5–10 дней раньше.

Экономический расчет замены действующей системы освещения на основе ламп ДНаЗ на новую показал, что годовой экономический эффект в одном блоке размером 6,4м на 75м многопролетной промышленной теплицы составляет 626 тысяч рублей при уменьшении расхода электроэнергии в 2 раза. Срок окупаемости новой системы составляет 2,8 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов В.С., Никифоров С.Г., Соболев П.А., Сушков В.П. Свойства зеленых и синих InGaN - светодиодов. // Светодиоды и лазеры. 2002. № 1 - 2. - С. 30-33.
2. Аверчева О.В. Физиологические эффекты узкополосного красно-синего освещения растений (на примере китайской капусты *Brassica chinensis* L.): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.05 / Аверчева Ольга Владимировна. – Москва, 2010. – 25 с.
3. Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н., Жигалова Т.В., Погосян С.И., Смолянина С.О. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // Физиология растений. – 2009. – Т. 56. – № 1. – С. 17–26.
4. Айзенберг Ю. Б. Световые приборы: Учебник для электромеханических техникумов. – М.: Энергия, 1980 – 464 с.
5. Баев В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению. – М.: Колос С, 2008. – 191 с.
6. Баранов Л.А., Захаров В.А. Светотехника и электротехнология //М.: КолосС, 2006. — 344 с: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). ISBN 5-9532-0373-X.
7. Большина Н.П., Фомин Е.М., Невский А.В. Оценка эффективности металгалогенных ламп при выращивании овощных и цветочных культур защищенного грунта. // Применение оптических излучателей в с.х. Саранск, 1985.- С. 65-68.
8. Большина Н.П., Живописцев Е.Н. Исследование ламп ДРЛФ400 в комбинированном режиме // Сб. научных трудов МИИСП «Автоматизация процессов с.-х. производства». МИИСП, 1983.
9. Бочкарева Н.И., Ефремов А.А., Ребане Ю.Т., Горбунов Р.И., Ключков А.В., Шретер Ю.Г. Деграция инъекции носителей заряда и деграция голубых светодиодов // Физика и техника полупроводников, 2006. Т. 40, вып. 6. - С. 122-127.

10. Браун М.. Источники питания. Расчет и конструирование. МК-Пресс. Киев. 2007. 279с.
11. Буряков А. А Влияние режимов работы светодиодов на срок их службы. http://zers-leds.ru/e107_plugins/content/content.php?content.56
12. Валеев Р.А., Кондратьева Н.П. Возможность регулирования спектрального состава светодиодных облучательных установок при помощи микроконтроллеров / // Материалы Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы». Том 2. Ижевск: ФГБОУ ИжГСХА, 2013. - С. 53-56.
13. Власов В. Ф. Курс радиотехники. М.: Госэнергоиздат, 1962. С. 52.
14. Вовденко К.П. Исследование изменения спектрального излучения аграрного светодиодного светильника в зависимости от изменения температуры окружающей среды // Аспекты современной науки. 2012, № 2. - С. 6-10.
15. Волков В.Н., Свентицкий И.И., Сторожев П.И., Царева Л.А. Искусственное облучение растений / методические рекомендации. Пушкино, 1982.
16. Воскресенская Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света. – М.: Наука, – 1965. 311 с.
17. Воскресенский, И.Г. Импульсное досвечивание растений в условиях защищенного грунта //- Зап. ЛенСХИ, 1970, т. 118, С.75-81.
18. Гладин, Д.В. Использование светодиодных технологий в сельском хозяйстве // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2. - С.60-65.
19. ГОСТ Р8. – 2010 Светодиоды. Методы измерения фотометрических характеристик
20. Гуторов М. М. Основы светотехники и источники света. Учебное пособие для вузов. – 2-е издание. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
21. Ерохин А.Н., Беркович Ю.А. Анализ характеристик салатной космической оранжереи с блоком освещения на светоизлучающих диодах // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2005– Т. 39 – № 1. – С. 36–43.

22. Ефимкина В. Ф., Софронов Н. Н. Светильники с газоразрядными лампами высокого давления. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 104 с, ил. – (Б-ка светотехника, Вып. 8)

23. Живописцев Е.Н., Косицын О.А. Электротехнология и электрическое освещение. – М.: Агропромиздат. – 1990. – 303 с.

24. Жилинский Ю.М., Кумин В.Д. Электрическое освещение и облучение/ М., Колос, 1982 г., С 268 .

25. Изюмов Н. М., Линде Д. П. Основы радиотехники. - М.: Радио и связь, 1983

26. Типовой проект 810-1-13.86 Гипронисельхоз Минплодоовощхоза СССР

27. Клешнин А.Ф. Свет и растение. – М.: Издательство Академии наук СССР. – 1954. – 456 с.

28. Кнорринг Г. М. Осветительные установки. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 288 с., ил.

29. Козинский, В.А. Электрическое освещение и облучение - М.:

30. Козырева, Е.А. Анализ электрических схем для электрооблучения растений/ Козырева Е.А. // Труды 6- Межд.науч.-техн. конф. (13-14 мая 2008г.) «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Часть 3.-М.: ВИЭСХ, 2008.С.390-394.

31. Козырева И.Н. Формирование фитопотоков светодиодных облучательных установок для выращивания сельскохозяйственных культур в условиях защищенного грунта: дисс. ... к-та тех. наук: 05.09.07 / Козырева Ирина Николаевна. – Томск 2014. – 119с.

32. Кондратьева Н.П. Повышение эффективности электрооблучения растений в защищенном грунте: дисс. ... д-ра тех. наук: 05.20.02 / Кондратьева Надежда Петровна. – Москва, 2003. – 365с.

33. Кондратьева, Н.П. Обоснование разработки инженерных решений для реализации комбинированного режима облучения растений / Кондратьева

Н.П., Козырева Е.А. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2002. № 5. С. 17-18.

34. Леман, В.М. Курс светокультуры растений / Леман В.М. М., Колос, 1970

35. Лисовский Г.И., Прикупец Л.Б., Сарычев Г.С., Сидько Ф.Я., Тихомиров А.Н. Экспериментальная оценка эффективности источников света с светокультуре растений // Светотехника, 1983. №4, С. 7-9.

36. Малышев В.В. Повышение эффективности облучательных установок для теплиц: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.02 / Малышев Владимир Викторович. – Москва, 2007. – 218 с.

37. Малышев В.В., Мудрак Е.И., Рымов А.И., Сарычев Г.С. Облучательные установки с протяженными отражающими поверхностями // - Светотехника, 1983, №3, С. 17.

38. Металлогалогенная лампа - BLV HIT-ULTRALIFE HIT-DE <http://www.svet-consulting.ru/Lamp/detail.php?ID=21365>

39. Мошков, Б.С. Выращивание растений при искусственном освещении / М., 1966.

40. Никифоров, С.Г. Исследование параметров семейства светодиодов Cree XLamp / Никифоров С.Г. // Компоненты и технологии. 2006. № 11. - С. 42-49.

41. Обычный А.Н., Юферев Л.Ю., Свентицкий И.И. Оценка превратимости главного энергетического входа в аграрное производство // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 9 – С. 51–53.

42. Овчукова С.А. Применение оптического излучения в сельскохозяйственном производстве: дисс. ... д-ра тех. наук: 05.20.02, 05.09.07 / Овчукова Светлана Александровна. – Москва, 2001. – 351с.

43. Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5. - С. 60-63.

44.Протасова Н.Н., Уеллс Дж. М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. – 1990. – Т. 37. – вып. 2. – С. 386–396.

45.Рубан Ю., ООО "Рубикон", 2010 г. <http://microsvet.ru/page/25>

46.Сбродов А.. Выбор силовых транзисторов для преобразователей напряжения с резонансным контуром. Электроника и компоненты. №6. 2002.

47.Свентицкий И.И. Измерение оптического излучения при выращивании растений // Светотехника. – 1965. – № 4. – С. 19–23.

48. Свентицкий И.И. Оценка фотосинтетической эффективности оптического излучения // Светотехника. – 1972. – № 4 – С. 23–25.

49. Свентицкий И.И. Методика измерения оптического излучения при выращивании растений// Всесоюз. ордена Ленина акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва. - Москва : Отд. внедрения и информации, 1968. - 27 с. : ил.;

50. Светодиод

<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%E2%E5%F2%E4%E8%E4>

51. Светодиодное освещение. Принципы работы, преимущества и области применения: Справочник. Philips, сентябрь 2010г., www.philips.ru
http://www.lighting.philips.ru/pwc_li/ru_ru/connect/assets/LED%20lighting%20explained.pdf

52.Светодиоды Cree – лучшие по интенсивности свечения Игорь Елисеев (КОМПЭЛ) НОВОСТИ ЭЛЕКТРОНИКИ № 9, 2009 с3-4

53.Светодиоды и их применение для освещения. Под общ. ред. акад. АЭН РФ Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2012. 280 с

54.Светодиоды, Ф.Е. Шуберт, Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2008 год 488с

55. Семенов Б.Ю. Силовая электроника. Библиотека инженера. Москва. СОЛОН-Пресс. 2005 412с.

56. Семенов Б.М. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Семенов Б.М. — М.: Солон-Р, 2001.

57. Скрипников Ю. Ф. Колебательный контур — М.: Энергия, 1970—128 с.: ил. — (МРБ; Вып. 739)
58. Соколов А.В. Индикатор мощности ФАР для освещения растений// Инновации в сельском хозяйстве. 2013. № 1 (3). С. 9-12.
59. Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Испытания широкополосных светодиодных светильников в ФИТО-камере// Инновации в сельском хозяйстве. 2013. № 3 (5). С. 29-31.
60. Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Моделирование спектров светодиодных матричных светильников// Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 2 (7). С. 65-72.
61. Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Результаты испытаний регулируемой системы освещения рассады//Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 2 (7). С. 54-58.
62. Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Результаты испытаний широкополосной системы освещения рассады // Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 1 (6). С. 40-45.
63. Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Универсальная широкополосная система освещения с варьируемым спектром для теплиц// Инновации в сельском хозяйстве. 2012. № 1 (1). С. 10-14.
64. Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Энергосберегающая система освещения для защищенного грунта// Инновации в сельском хозяйстве. 2014. № 4. С. 78-81.
65. Соколов А.В., Юферев Л.Ю. Эффективность использования искусственного освещения растений// Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. № -1. С. 163-165.
66. Соколов А.В., Юферев Л.Ю., Алферова Л.К. Широкополосная система освещения для тепличных растений // Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2012

67.Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006. – 972с.

68.Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472с.

69. Срок службы светодиодов для общего освещения: определение понятия срока службы (“LED Life for General Lighting: Definition of Life.”) // ASSIST recommends.Vol. 1, Issue 1. Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies, February 2005.

70. Стребков Д.С. Верютин В.И. Юферев Л.Ю. Рошин О.А. Система питания газоразрядных ламп. Патент №2364783 БИ №23, 2009.

71. Стребков Д.С. Юферев Л.Ю., Рошин О.А., Михалев А.А. Резонансные системы светодиодного освещения. Достижения науки и техники АПК. 2009. № 10. С. 20-21.

72. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Рошин О.А. Юферев Л.Ю. Резонансная система электрического освещения. Экология и сельскохозяйственная техника. Материалы 5-й международной научно-практической конференции 15-16 мая 2007 года. Том 3 Экологические аспекты производства продукции животноводства и электротехнологий. С-П 2007 том.3 с.246-250

73. Стребков Д.С., Некрасов А.И, Юферев Л.Ю., Рошин О.А., Михалев А.А. Электрооборудование для резонансной системы освещения Энергобезопасность и энергосбережение №4(28) 2009 с. 22-25

74. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Рошин О.А., Юферев Л.Ю. Модернизированная резонансной системы электрического освещения. «Труды 6-й Международной научно – технической конференции» (13 – 14 мая 2008 года, Москва, ГНУ ВИЭСХ), Часть – 1 «Проблемы энергообеспечения и энергосбережения», М., 2008 С 158 – 163.

75. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Юферев Л.Ю., Лямцов А.К. Солнечный светильник Патент РФ № 2241176 БИ 2004 №33

76. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Юферев Л.Ю., Роцин О.А. Резонансная система освещения. «Перестройка естествознания и энергетики»- 2009. материалы XVIII международного научного симпозиума. Санкт-Петербург, Россия, 28-30 апреля 2009г. С. 58.

77. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Юферев Л.Ю., Роцин О.А. Резонансный метод передачи электроэнергии от солнечной батареи. «Труды 5-й Международной научно – технической конференции» (16 – 17 мая 2006 года, Москва, ГНУ ВИЭСХ), Часть – 4 «Энергообеспечения и энергосбережения в сельском хозяйстве», М., 2006 С 122 – 128.

78. Стребков Д.С., Некрасов А.И., Юферев Л.Ю., Роцин О.А., Некрасов А.А. Резонансная система электроосвещения на основе возобновляемых источников энергии. «Сборник научных трудов XV международной научно – практической конференции» (18 – 19 сентября 2009 года, г. Тамбов), «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства», Тамбов, 2009 С. 500 – 509.

79. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Александров Д.В., Соколов А.В. Повышение эффективности систем освещения и облучения // Теоретический и научно-практический журнал "Механизация и электрификация сельского хозяйства" -2014№ 1 (32) С.13-16

80. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Роцин О.А. Светодиодный светильник (варианты). Заявка №2009123358/09 от 19 июня 2009.

81. Стребков Д.С., Юферев Л.Ю., Соколов А.В., Прошкин Ю.А. Проектирование преобразователей напряжения для резонансных систем передачи электрической энергии малой мощности// Сборник научных докладов ВИМ. 2010. Т. 2. С. 332-340.

82. Тимирязев, К.А. Космическая роль растений. В сб.: Солнце, жизнь и хлорофилл / Тимирязев К.А. М-Петроград, Госиздат, 1923, С.324

83. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: Биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 213 с.

84. Тихомиров А.А., Лисовский Т.М., Сидько Ф.Я. Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука (Сибирское отд.), 1991, – 168 с.

85. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая 1977

86. Тооминг Х.М., Гуляев Б.И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. – М.: Наука. 1967. – 144 с.

87. Шаин С.С. и др. Свет и развитие растений. – Иваново 1962

88. Шогенов Ю.Х., Гришин А.П., Тараканов И.Г., Юферев Л.Ю., Гришин А.А. Использование светодиодных облучателей при выращивании растений в вегетационных климатических камерах нового поколения // Труды международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – 2012. – Т. № 3. – С. 185–192.

89. Шустов М.А. Источники питания и стабилизаторы. Практическая схемотехника. Альтекс-А. Москва 2002. 190с.

90. Юферев Л.Ю., Соколов А.В., Юферева А.А. Резонансная светодиодная система освещения для закрытого грунта// Полупроводниковая светотехника. 2014. Т. 2. № 28. С. 78-80.

91. Юферев Л.Ю., Михалев А.А., Соколов А.В., Прошкин Ю.А., Применение резонансной энерго-ресурсосберегающей системы освещения в птицеводческих помещениях, международная научно-практическая конференция молодых ученых «Молодежь и инновации – 2011» Беларусь, Горки 25–27 мая 2011 г. Доклад №28 с.75-78

92. Юферев Л.Ю., Прокопенко А.А., Алферова Л.К., Рошин О.А., Михалев А.А., Соколов А.В., Юферева А.А., Харченко Н.В. Регулируемая система освещения (варианты) // патент на полезную модель RUS №120307 подано 28.12.2011. Опубликовано: 10.09.2012 Бюл.№2

93. Юферев Л.Ю., Рощин О.А., Александров Д.В., Соколов А.В. Исследование резонансной системы передачи электроэнергии на повышенной частоте// Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". 2014. № 8 (148). С. 89-93.

94. Юферев Л.Ю., Соколов А.В. Измеритель фотосинтетически-активной радиации// патент на полезную модель RUS№137973 подано 09.11.2012 Опубликовано: 27.02.2014 Бюл. №6

95. Юферев Л.Ю., Соколов А.В. Проблемы безопасности эксплуатации резонансных систем передачи электроэнергии //Вестник ВИЭСХ. 2013. № 2 (11). С. 74-76.

96. Юферев Л.Ю., Соколов А.В., Юферева А.А. Резонансная система освещения растений в теплицах // Техника в сельском хозяйстве №4 2014 с.12-15.

97. Юферев Л.Ю., Стребков Д.С., Рощин О.А. Экспериментальные модели резонансных систем электрической энергии. М.: ВИЭСХ, 2010, 208с.

98.<http://www.gidroponika.ru/gidroponika-magazin/lampy-dlja-rastenij/lampy-dnat/lampa-general-electric-dnat-400-kupit.html> Лампа General Electric HO Lucalox ДНАТ 400

99.http://ferrite.com.ua/power_cores/ee_ei_power_cores.html

100. <http://www.magazine-svet.ru/analytics/64049/>

101. http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/contur.html?type=1&commentpage=40

102. IES Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products, publication IES LM-79-08. Illuminating Engineering Society: New York, NY, 2008.

103. Inada, K. 1977. Effects of leaf color and the light quality applied to leaf-developing period on the photosynthesis response spectra in crop plants. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 46:37-44.

104. Inada, K. 1978a. Photosynthetic action spectra in higher plants. Plant Cell Physiol. 19:1007-1017.

105. Inada, K. 1978b. Spectral dependence of photosynthesis in crop plants. *Acts Hort.* 87:177-184
106. Inada, K. 1976. Action spectra for photosynthesis in higher plants. *Plant Cell Physiol.* 17:355-365.
107. McCree, K.J. 1972a. The action spectrum, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agr. Meteorol.* 9:191–216.
108. Mc Cree H.J., Joomis R.S. Photosynthesis in fluctuating light. *Ecology.*, 1969, №3, v.50..
109. N. Tesla. Electrical transformer. US Pat № 593138, 02.11.1897.
110. Sager, J.C., W.O. Smith, J.L. Edwards, and K.L. Cyr. 1988. Photosynthetic efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.* 31:1882–1889

Утверждаю:
Генеральный директор ООО "ВИАН"



Чечуров А.В.

30 апреля 2013г.

АКТ от 30 апреля 2013 г.

Комиссия, в составе:

Генеральный директор ООО "ВИАН" Чечуров А.В., зав. лабораторией ГНУ
ВИЭСХ Юферев Л.Ю., инженер ГНУ ВИЭСХ Соколов А.В.

Задачи экспериментальной апробации:

В ходе экспериментальной апробации широкополосной системы освещения рассады, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, выяснились следующие вопросы:

1. Влияние дополнительного облучения широкополосной системой облучения в ФИТО-камере на рост и развитие рассады.
2. Влияние дополнительного облучения широкополосной системой облучения рассады в ФИТО-камере на период вегетации и урожайность растений.
3. Надежность светодиодного светильника

Материалы экспериментальной апробации

Апробированы светильники для освещения рассады с широкополосной светодиодной системой освещения с регулируемым спектром в ФИТО-камере. Корпуса светильников изготовлены из ударопрочного пластикового материала и светодиодных источников света с системой охлаждения. Рассеиватели изготовлены из поликарбонатного стекла, пропускающего широкий спектр оптического излучения.

Технические параметры и характеристики:

- Напряжение питания - 220 В
- Потребляемая мощность светильника - 75 Вт
- Мощность светового потока, ФАР - 22
- Мощность светового потока - 4000лм
- Освещенность рассады на расстоянии 50 см - 5000лк
- Габаритные размеры светильника для растений - 950x200x160мм
- Ширина спектра - 390÷700нм

Методика заключалась в следующем: в ФИТО-камерах, размерами 1,5x0,8 м, с одинаковыми условиями были засеяны огурцы "Московский тепличный", томаты "Пламя" и перец "Аккорд". Первые получали только естественный свет, вторые естественный свет с продолжительностью светового дня до 14 часов с досветкой в темное время суток широкополосным светодиодным светильником (продолжительность светового дня до 20 часов). Широкополосные светодиодные светильники обеспечивали дополнительную облученность 10,5 Вт/м².

После 28 дней рассада была пересажена в теплицу до получения урожая, где растения находились в одинаковых условиях.

Таблица 1. Результаты наблюдения роста рассады

	Тип освещения	14 день	21 день	28 день
Томаты	Естественное освещение с досвечиванием	100мм	200мм	350мм
	Естественное освещение	90мм	170мм	280мм
Перец	Естественное освещение с досвечиванием	75мм	120мм	180мм
	Естественное освещение	60мм	100мм	150мм
Огурцы	Естественное освещение с досвечиванием	70мм	130мм	180мм
	Естественное освещение	100мм	170мм	250мм

Таблица 2. Результаты наблюдения урожая в теплице за вегетацию

	Тип освещения	Урожайность
Томаты (70 и 80 суток)	Естественное освещение с досвечиванием	17кг/м ²
	Естественное освещение	15кг/м ²
Перец (100 и 110 суток)	Естественное освещение с досвечиванием	8кг/м ²
	Естественное освещение	6,5кг/м ²
Огурцы (70 и 60 суток)	Естественное освещение с досвечиванием	30кг/м ²
	Естественное освещение	25кг/м ²

Результаты экспериментальной апробации.

В результате экспериментальной апробации широкополосных светодиодных светильников для рассады, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, установлено:

1. Применение светильников обеспечивает рассаду необходимым оптическим излучением, при этом у растений листовая система по всей длине ствола была полностью развита. Рост растений, находившихся под дополнительным облучением, превышал в период рассады на 20-30% рост растений под естественным освещением.

Стебли огурцов, без досветки, были вытянутыми и тонкими, листовая система начиналась на расстоянии 12-16 см от корня, а растения, получившие дополнительное освещение, имели ствол гораздо короче и плотнее.

2. Период вегетации растений, находившихся под облучением, сократился примерно на 8-10 дней.

При высаживании в открытый грунт рассада, выращиваемая с досветкой, показала урожайность на 10-15% выше.

3. В период эксплуатации отмечена устойчивая работа светильника.


Заключение

Применение энергосберегающих широкополосных светильников позволило получить качественную рассаду, которая позволила сократить период вегетации и повысить урожайность.

Комиссия считает целесообразным внедрение разработанной ГНУ ВИЭСХ широкополосных светодиодных светильников в теплицах.

Подписи:

Чечуров А.В.



Юферев Л.Ю.

Соколов А.В.

Утверждаю:
Генеральный директор ООО "ВИАН"



Чечуров А.В.

«12» мая 2014г.

АКТ от 12 мая 2014 г.

Комиссия, в составе:

Генеральный директор ООО "ВИАН" Чечуров А.В., зав. лабораторией ГНУ ВИЭСХ Юферев Л.Ю., инженер ГНУ ВИЭСХ Соколов А.В. инженер ГНУ ВИЭСХ Юферева А.А.

Задачи экспериментальной апробации:

В ходе экспериментальной апробации широкополосной системы освещения рассады, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, выяснялись следующие вопросы:

1. Спектральная эффективность действия ФАР на развитие, рост и качество биомассы.
2. Проверяются сформулированные теоретические предположения на созданной специализированной растениеводческой системе освещения с оптимизированным спектральным составом ФАР для различных растений.
3. Обеспечение равномерного распределения потока излучения при рациональной технологии облучения.

Материалы экспериментальной апробации

Исследуемые культуры выращивали при дополнительной облученности широкополосной системой освещения. Рассада получала досветку в темное время суток, до увеличения светового дня до 12-16 часов.

Рассада сразу после появления всходов получала облучение с преобладанием красного в спектре ламп (до 80%). Так как под воздействием красного света (600-700нм) процесс прорастания активизируется. Особенно важна область 625-680 нм - способствует интенсивному росту листьев и осевых органов. Синий свет (400-500нм) мало использован, т.к. он подавляет рост стебля, площади листьев и черешков, а зеленый приводит к вытянутости осевых органов. На данном этапе растения в сравнении с растениями без искусственного освещения более развиты.

После 21-го дня была увеличена доля синего (до 20%) и зеленого (до 20%) в спектре в системе освещения. Добавление синего позволяет формировать более толстые листья, с большим количеством клеток. А зеленая

часть влияет на вытянутость осевых органов, увеличение фотосинтеза в расчете на хлоропласт. Отдельно синяя и зеленая область дают низкую продуктивность растений, однако излучение с определенным соотношением полос в спектре позволяет обеспечить выращивание полноценных растений.

В сравнении с растениями при естественном освещении толщина листьев под светодиодными светильниками толще. Так как толщина листовой пластинки зависит не только от величины облученности, но и от спектрального состава облучения. А в спектре светодиодных ламп есть коротковолновая энергия, влияющая на формирование толстых листьев. К тому же, при увеличении толщины листа увеличивается и вес с единицы площади листа.

Температура воздуха в зоне растений во время облучения рассады находилась в пределах 20-22°C, относительная влажность примерно 80-95%. Ежесуточная продолжительность солнечного и дополнительного облучения составляла 14-16 часов.

Светодиодные широкополосные светильники по мере роста регулировались по высоте. В начальный период на высоте 0,5 метра, в последующие периоды увеличивалась до 1м. В первые два дня после всходов облучение длилось 24 часа.

Для того, чтобы рассада адаптировалась к естественному режиму облучения после её высаживания проводилось постепенное сокращение длительности ежедневного облучения с 16 часов в начальные периоды до 12 часов на последнем этапе

Технические параметры и характеристики :

- Напряжение питания - 220 В
- Потребляемая мощность светильника - 75 Вт
- Мощность светового потока, ФАР - 22
- Мощность светового потока - 4000лм
- Освещенность рассады на расстоянии 50 см - 5000лк
- Габаритные размеры светильника для растений - 950x200x160мм
- Ширина спектра - 390÷700нм

Таблица 1. Результаты наблюдения роста растений

	Тип освещения	14 день	21 день	28 день
Томат	Естественное освещение +досветка	50мм	200мм	380мм
	Естественное освещение	30мм	140мм	290мм
Перец	Естественное освещение + досветка	30мм	60мм	100мм
	Естественное освещение	20мм	45мм	75мм

Результаты экспериментальной апробации.

В результате экспериментальной апробации широкополосных светодиодных светильников для рассады, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, установлено:

1. При выращивании рассады до 21 дня использовалась система освещения с содержанием в спектре 80% красного, 10% синего, 10% зеленого.
2. С 21 дня использовалась система освещения с содержанием в спектре 60% красного, 20% синего, 20% зеленого.
3. Эксперименты показали, что такой спектр в широкополосной системе освещения благоприятно влияют на рост и развитие рассады. Сравнимые контрольные растения, получавшие дополнительное облучение, имели более развитую систему листьев и стеблей, и соответственно массу растений.
4. Светодиодная широкополосная система позволила получить довольно дружные всходы в короткий срок, ускорила рост и развитие растений.
5. Размеры и форма этих ламп позволили обеспечить равномерное распределение потока излучения при рациональной технологии облучения.

Заключение

Применение энергосберегающих широкополосных светильников позволило получить качественную рассаду, которая позволила сократить период вегетации и повысить урожайность.

Комиссия считает целесообразным внедрение разработанной ГНУ ВИЭСХ широкополосных светодиодных светильников в теплицах.

Подписи:

Чечуров А.В.



Юферев Л.Ю.

Соколов А.В.

Юферева А.А.



Утверждаю:
Генеральный директор ООО «ВИАН»



АКТ от 12 декабря 2013 г.

Комиссия, в составе:

Генеральный директор ООО «ВИАН» Чечуров А.В., зав. лабораторией ГНУ ВИЭСХ
Юферс ва Л.Ю., инженера ГНУ ВИЭСХ Соколова Л.В.

Задачи экспериментальной апробации:

В ходе экспериментальной апробации широкополосной системы освещения рассады, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, выяснялись следующие вопросы:

1. Влияние увеличения продолжительности светового дня на массу, рост и развитие растений за счет досвечивания широкополосной системой освещения.
2. Оценка оптимального спектра с необходимым уровнем фотосинтез активной радиации для досвечивания рассады.
3. Возможность достаточно точного и быстрого измерения дозы фотосинтетически активной радиации (ФАР)

Материалы экспериментальной апробации

Апробированы светильники (мощность 50Вт) на рассаде укропа, петрушки и салата. Методика заключалась в следующем, в теплице с одинаковыми параметрами были засеяны растения. Первые получали только естественный свет, вторые естественный свет с досветкой в темное время суток широкополосным светодиодным светильником (продолжительность светового дня до 14 часов). Система освещения обеспечивала дополнительную облученность 8.4 Вт/м² ФАР. На этапе рассады растения получали облучение в диапазоне 380..700 нм с пиком в красной зоне, что максимально приближено к чувствительности растений на данной стадии роста и развития. А оценку мощности светильника проводили индикатором мощности фотосинтетически-активной радиации ФАР ВИЭСХ.

Таблица 1. Результаты наблюдения роста растений

	Тип освещения	14 день	21 день	28 день
Укроп	Естественное освещение с досвечиванием	40мм	55мм	80мм
	Естественное освещение	20мм	30мм	55мм
Листья салата	Естественное освещение с досвечиванием	30мм	40мм	65мм
	Естественное освещение	20мм	25мм	50мм
Петрушка	Естественное освещение с досвечиванием	5мм	25мм	35мм
	Естественное освещение	2мм	15мм	22мм

Таблица 2. Результаты наблюдения массы растений

	Тип освещения	14 день	21 день	28 день
Укроп	Естественное освещение с досвечиванием	0,15г	0,40г	0,9г
	Естественное освещение	0,10г	0,25г	0,5г
Листья салата	Естественное освещение с досвечиванием	0,3г	1,5г	4,5г
	Естественное освещение	0,2г	0,5г	1,8г
Петрушка	Естественное освещение с досвечиванием	0,04г	0,2г	0,4г
	Естественное освещение	0,02г	0,1г	0,2г

Результаты экспериментальной апробации.

В результате экспериментальной апробации широкополосной системы освещения рассады, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, установлено:

1. Рост салата "Московский парниковый" (ВНИИССОК) и петрушки "Итальянский гигант" (Дом семян) при естественном освещении в теплице были зарегистрированы приблизительно в полтора раза меньше сравнительно с салатом и петрушкой, облученными дополнительно. А результаты досветки укропа "Аллигатор" (ГАВРИШ) показывают почти двойное превосходство в размерах досвеченных растений против получивших только естественный свет. А биомасса всех растений с большей продолжительностью дня увеличилась вдвое.

2. Облучение рассады в диапазоне 380..700 нм с пиком в красной зоне с облученностью 8,4 Вт/м² ФАР благоприятно влияет на рост и развитие растений, повышая урожайность.

3. Равномерность облучения фотосинтетически активной радиации обеспечена контролем с помощью индикатора мощности ФАР.

Заключение

Дополнительное облучение рассады в теплице показало дополнительный рост зеленой массы растений, что позволяет сократить период вегетации и повышает урожай как минимум на 20-30%. Светодиодный светильник позволил обеспечить равномерное распределение потока энергии и близкое к максимальному КПД ФАР спектр облучения.

Широкополосная система освещения может быть использована как вместе с существующей системой освещения в теплицах, так и отдельно.

Комиссия считает целесообразным внедрение разработанной ГНУ ВИЭСХ широкополосной системы освещения рассады.

Подписи:

Чечуров А.В.

Юферев Л.Ю.

Соколов А.В.



Утверждаю:
Генеральный директор ООО "ВИАН"



Чечуров А.В.

«23» июля 2014г.

АКТ от 23 июля 2014 г.

Комиссия, в составе:

Генеральный директор ООО "ВИАН" Чечуров А.В., зав. лабораторией ГНУ
ВИЭСХ Юферев Л.Ю., инженер ГНУ ВИЭСХ Соколов А.В.

Задачи экспериментальной апробации:

В ходе экспериментальной апробации широкополосной системы освещения, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, выяснялись следующие вопросы:

1. Возможность повышения продуктивности растений за счет эффективного использования лучистой энергии, оптимального спектра ФАР.
2. Возможность достижения нужных скоростей и направлений продукционного процесса, протекающему благодаря искусственному освещению.
3. Управляемость и устойчивость широкополосной системы освещения.

Материалы экспериментальной апробации

Апробированы светильники для освещения рассады с широкополосной светодиодной системой освещения с регулируемым спектром в теплицах ООО "ВИАН". Выращивались огурцы "F1 ЛИБЕЛЛЕ" со стадии рассады до получения урожая широкополосной системы освещения с различными спектральным соотношением: 1 (синий 20%, зеленый 40%, красный 40%) и 2 (синий 30%, зеленый 20%, красный 50%).

Температура воздуха составляла днём 24-26°, ночью 18°С.

Диапазон температур корневой системы растений находился в пределах 23-27°С. Для поддержания температур использован дополнительный обогрев за счет труб обогревателей в почве.

Относительная влажность не ниже 75-80%. Достигалась за счет разбрызгивания в воздухе мелкодисперсной водяной пыли.

Интенсивность света в дневное время в период рассады составляла 50-100 Вт/м² ФАР, а досветка утром 2-3 часа и вечером 2-4 часа составляла 20 Вт/м². Общий световой день составил 14 часов.

В возрасте 30 суток растения имели 6 настоящих листьев, высоту 25 см, вес 30г

При выращивании облучение было в диапазоне 100-200Вт/м², досветка утром 2 часа и вечером 2-4 часа составляла 20Вт/м². Общий световой день составлял 18 часов.

Использована регулируемая высота подвески ламп для обеспечения облучения в необходимом диапазоне интенсивности ФАР.

Технические параметры широкополосной системы

- Напряжение питания - 220 В
- Потребляемая мощность светильника - 75 Вт
- Мощность светового потока, ФАР - 22
- Мощность светового потока - 4000лм
- Освещенность рассады на расстоянии 50 см - 5000лк
- Габаритные размеры светильника для растений - 950x200x160мм
- Ширина спектра - 390÷700нм

Таблица 1. Результаты наблюдения рассады

	Тип освещения	Срок формирования рассады	Среднее количество листьев на растение	Высота растений	Средний вес растений
Огурцы "F1 ЛИБЕЛЛЕ"	(с-20%, з-40%, к-40%)	30 суток	5,9	250мм	29,5 г
	(с-30%, з-20%, к-50%)	30 суток	5,6	245мм	30 г

Таблица 2. Результаты наблюдения урожая в теплице за вегетацию

	Тип освещения	Продолжительность вегетации	Урожайность	Продуктивность г/м ² сут.
Огурцы "F1 ЛИБЕЛЛЕ"	(с-20%, з-40%, к-40%)	69	28кг/м ²	405
	(с-30%, з-20%, к-50%)	72	25кг/м ²	347

Результаты экспериментальной апробации.

В результате экспериментальной апробации широкополосных светодиодных светильников для рассады, разработанной в ГНУ ВИЭСХ, установлено:

1. Используя изменение спектрального состава при одинаковой интенсивности широкополосной системы повышена продуктивность урожая

интенсивности широкополосной системы повышена продуктивность урожая огурца. Спектральное соотношение (с-20%, з-40%, к-40%) позволило увеличить продуктивность растений на 58 г/м²-сут. сравнительно (с-30%, з-20%, к-50%)

2. Период вегетации растений сократился на 2-4 дня, при использовании спектрального соотношения (с-20%, з-40%, к-40%)

3. В период эксплуатации отмечена удобная и понятная настройка широкополосной системы освещения для получения необходимого спектрального состава.

4. Световой день в период рассады составил 14 часов, а в период выращивания 18 часов.

Заключение

Применение широкополосной системы освещения позволило полу сокращение периода вегетации и повысить урожайность огурца сорта "ЛИБЕЛЛЕ" за счет применения определенного спектрального соотношения

Комиссия считает целесообразным использования разработанной ГНУ ВИЭСХ широкополосных светодиодных светильников в теплицах для сорта "F1 ЛИБЕЛЛЕ" со спектральным соотношением (с-20%, з-40%, к-40%).

Подписи:

Чечуров А.В.



Юферев Л.Ю.

Соколов А.В.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **137 973** (13) **U1**(51) МПК
G01J 3/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012147558/28, 09.11.2012

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
09.11.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.11.2012

(45) Опубликовано: 27.02.2014 Бюл. № 6

Адрес для переписки:

109456, Москва, 1-ый Вешняковский пр-д, 2, ГНУ
ВИЭСХ, О.В. Голубевой

(72) Автор(ы):

Юфев Леонид Юрьевич (RU),
Соколов Александр Вячеславович (RU)

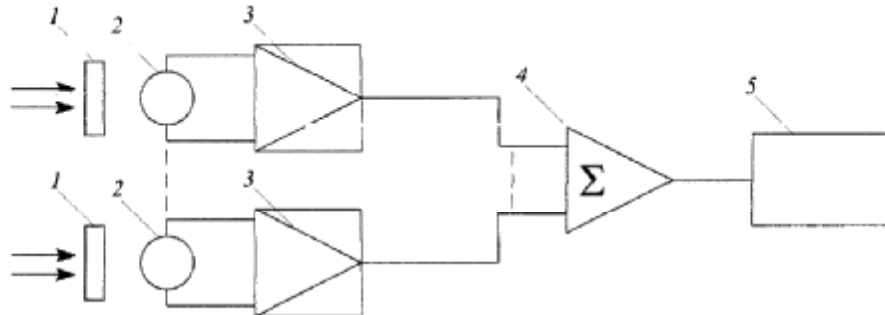
(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский
институт электрификации сельского
хозяйства Российской Академии
Сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ
РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ) (RU)

(54) ИЗМЕРИТЕЛЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ-АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ

(57) Формула полезной модели

Измеритель фотосинтетически-активной радиации, содержащий светофильтры, фотодатчики, отличающийся тем, что содержит измерительную часть, два и более светофильтров, настроенных на разные участки спектра, установленные каждый перед своим двумя и более фотодатчиком, фотодатчики соединены каждый со своим регулируемым усилителем, при этом выходные сигналы усилителей суммируются и поступают в измерительную часть, которая показывает величину энергии фотосинтетически-активной радиации.



RU 137973 U1

RU 137973 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **120 307** ⁽¹³⁾ **U1**
(51) МПК
H05B 37/02 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011153583/07, 28.12.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.12.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.12.2011

(45) Опубликовано: 10.09.2012 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

109456, Москва, 1-й Вешняковский пр-д, 2,
ГНУ ВИЭСХ, О.В. Голубевой

(72) Автор(ы):

Юферев Леонид Юрьевич (RU),
Прокопенко Александр Аксентьевич (RU),
Алферова Лариса Константиновна (RU),
Рошин Олег Алексеевич (RU),
Михалев Александр Александрович (RU),
Соколов Александр Вячеславович (RU),
Юферева Анна Александровна (RU),
Харченко Наталья Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский
институт электрификации сельского
хозяйства Российской академии
сельскохозяйственных наук (ГНУ ВИЭСХ
РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ) (RU),
Государственное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский
институт ветеринарной санитарии, гигиены и
экологии Российской академии
сельскохозяйственных наук (ГНУ
ВНИИВСГЭ РОССЕЛЬХОЗАКАДЕМИИ)
(RU)**(54) РЕГУЛИРУЕМАЯ СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ (ВАРИАНТЫ)****(57) Формула полезной модели**

1. Регулируемая система освещения, содержащая светильники на основе светодиодов, источник питания, преобразователь напряжения, резонансный трансформатор, линию электропередачи и блок управления, отличающаяся тем, что блок управления подключен к нескольким преобразователям напряжения для каждого цвета отдельно, при этом к преобразователям напряжения подключены n линий передачи ($n=1, 2, 3...k$), к которым подсоединены параллельно через ограничивающую емкость m цепей светильников ($m=1, 2, 3...p$), причем в каждой цепи подключены последовательно от одного до нескольких светильников, состоящих из z светодиодов ($z=1, 2, 3...x$), при этом блок управления регулирует частоту преобразователей напряжения и может быть автоматическим или ручным, а преобразователи частоты выполнены с обратной связью от резонансных трансформаторов или без обратной связи, а отдельные разноцветные светильники могут быть объединены в один.

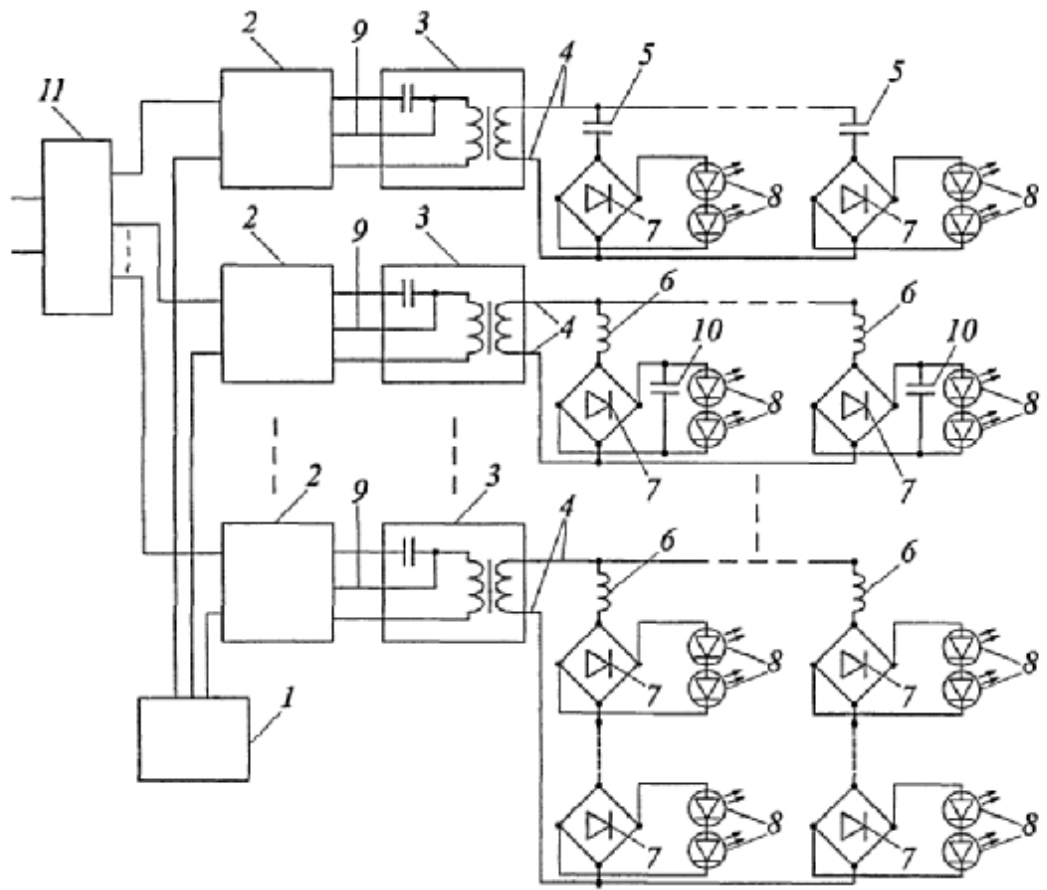
2. Регулируемая система освещения, содержащая светильники на основе

светодиодов, источник питания, преобразователь напряжения, резонансный трансформатор, линию электропередачи и блок управления, отличающаяся тем, что блок управления подключен к нескольким преобразователям напряжения для каждого цвета отдельно, при этом к преобразователям напряжения подключены n линий передачи ($n=1, 2, 3 \dots k$), к которым подсоединены параллельно через ограничивающую индуктивность m цепей светильников ($m=1, 2, 3 \dots p$), причем в каждой цепи подключены последовательно от одного до нескольких светильников, состоящих из z светодиодов ($z=1, 2, 3 \dots x$), при этом блок управления регулирует частоту преобразователей напряжения и может быть автоматическим или ручным, а преобразователи частоты выполнены с обратной связью от резонансных трансформаторов или без обратной связи, а отдельные разноцветные светильники могут быть объединены в один.

3. Регулируемая система освещения, содержащая светильники на основе светодиодов, источник питания, преобразователь напряжения, резонансный трансформатор, линию электропередачи и блок управления, отличающаяся тем, что блок управления подключен к нескольким преобразователям напряжения для каждого цвета отдельно, при этом к преобразователям напряжения подключены n линий передачи ($n=1, 2, 3 \dots k$), к которым подсоединены параллельно через ограничивающую индуктивность m цепей светильников ($m=1, 2, 3 \dots p$), причем в каждой цепи подключены последовательно от одного до нескольких светильников, состоящих из z светодиодов ($z=1, 2, 3 \dots x$), в состав которых входит емкость, при этом блок управления регулирует частоту преобразователей напряжения и может быть автоматическим или ручным, а преобразователи частоты выполнены с обратной связью от резонансных трансформаторов или без обратной связи, а отдельные разноцветные светильники могут быть объединены в один.

RU 1 2 0 3 0 7 U 1

RU 1 2 0 3 0 7 U 1



RU 1 2 0 3 0 7 U 1

RU 1 2 0 3 0 7 U 1